

**PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN TERHADAP KUAT
LENTUR BALOK BERTULANGAN BAMBU PILIN**

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



REZA FAHLEVI
NIM. 135060100111019

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BERTULANGAN BAMBU PILIN

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



REZA FAHLEVI
NIM. 135060100111019

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 15 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rolang Martin S., ST., MT., M.Sc
NIK. 2010027712032001

Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT
NIP. 2016078807271001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Pengaruh Variasi Rasio Tulangan terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Pilin

Nama Mahasiswa : Reza Fahlevi

NIM : 135060100111019

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

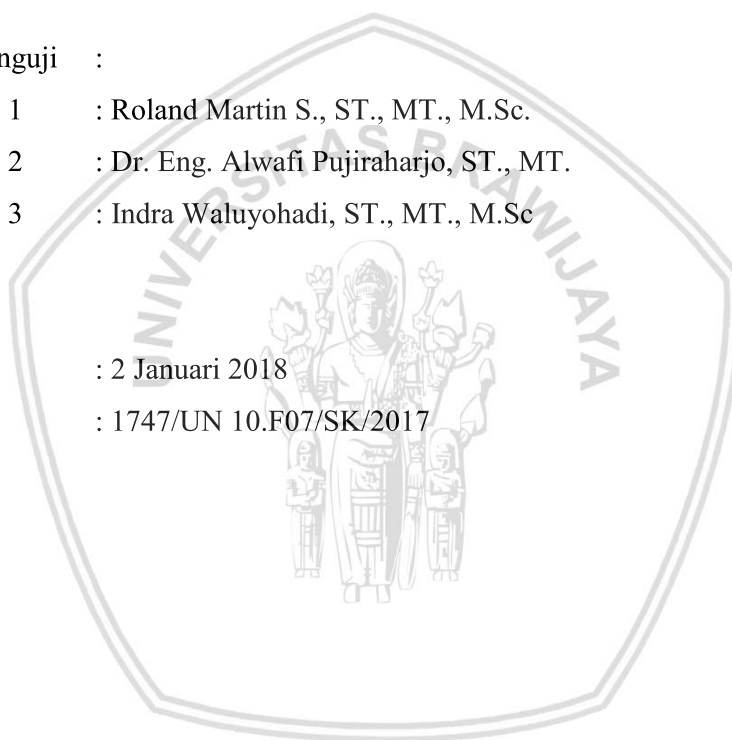
Dosen Penguji 1 : Roland Martin S., ST., MT., M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc

Tanggal Ujian : 2 Januari 2018

SK Penguji : 1747/UN 10.F07/SK/2017





LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

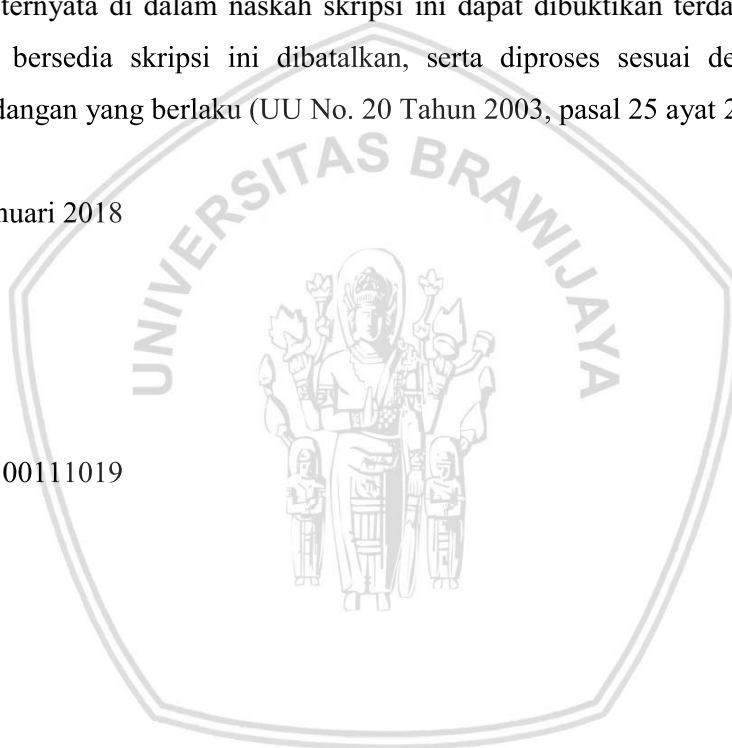
Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 15 Januari 2018

Reza Fahlevi

NIM. 135060100111019





RIWAYAT HIDUP

Reza Fahlevi, lahir di Makassar, 10 Juli 1995, anak ketiga dari Bapak Khairully dan Ibu Wijaya Wati. Berada dalam lingkungan kehidupan tentara menyebabkan lingkungan sekolah berpindah-pindah hingga akhirnya menetap di Jakarta pada tahun 2007 hingga sekarang. Bersekolah dasar di SDN 03 RA FADILLAH dan melanjutkan ke SMP 103 JAKARTA hingga jenjang sekolah menengah atas di SMA 39 JAKARTA. Lulus pada tahun 2013 kemudian melanjutkan studi perkuliahan hingga lulus pada tahun 2018 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif berorganisasi dalam Himpunan Mahasiswa Sipil departemen Amara dari awal hingga periode akhir kepengurusan.

Malang, Januari 2018

Penulis





KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Rasio Tulangan terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Pilin”. Shalawat serta salam penulis tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang telah memberikan contoh serta pencerahan bagi umat manusia.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah membantu akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan, oleh karena itu saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ir. Sugeng P. Budio, MS. dan Ir. Siti Nurlina, MT. selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan yang telah membimbing dari awal perkuliahan hingga tugas akhir ini.
2. Dr. Eng. Indradi W, ST. M.Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 dan Dosen Pembimbing Akademis.
3. Dr. Ir. Wisnumurti, MT dan Dr. Eng. Indradi W, ST. M.Eng (Prac) sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
4. Roland Martin Simatupang, ST., MT., M.Sc, Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT., dan Dr. Eng. Devi Nuralinah, ST., MT. sebagai tim dosen struktur yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
5. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS. selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan, serta Bapak Sugeng dan Mas Dino selaku Laboran yang telah membantu penelitian kami di Laboratorium Struktur.
6. Ibu, Ayah, Kakak dan Adik yang telah memberi bantuan moral dan materiil dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan-rekan Tim Research yang telah bekerja sama dan berjuang dalam penelitian dan skripsi ini.
8. Bintang dan Alodia yang selalu memberikan semangat sejak Mahasiswa Baru.
9. Grup Keluarga Fatamorgana yang selalu menemani dan memberikan saran jikalau hati sedang gundah
10. Rekan-rekan AmerA yang telah membantu dan mendukung untuk menyelesaikan skripsi ini.

11. Segenap keluarga besar Teknik Sipil Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2013 yang membantu selama proses penelitian skripsi ini.

Untuk penyempurnaan skripsi ini, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini juga bermanfaat bagi pembaca khususnya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Malang, Januari 2018

Penyusun



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Balok	5
2.2. Beton	5
2.2.1. Bahan Penyusun Beton	6
2.2.1.1. Air	6
2.2.1.2. Semen	6
2.2.1.3 Agregat	8
2.2.1.4 Faktor Air Semen (FAS)	9
2.2.1.5 <i>Slump Test</i>	10
2.2.2. Kuat Tekan Beton	10
2.2.3. Kuat Lentur Beton	11
2.3. Bambu	12
2.3.1. Bambu Bagian Luar dan Bambu Bagian Dalam	14
2.3.2. Bambu Sebagai Tulangan Beton	15
2.3.3. Kuat Tarik Bambu	15
2.3.4. Kuat Tekan Bambu	16
2.3.5. Perlakuan pada Bambu sebagai Tulangan Beton	16
2.3.6. Modulus Elastisitas Bambu	18

2.4.	Pelapis	18
2.5.	Kuat Lekat Antara Tulangan dengan Beton	18
2.6.	Kapasitas Lentur pada Balok Beton Bertulang	20
2.7.	Keruntuhan pada Balok Beton Bertulang	22
2.7.1.	Keruntuhan Lentur (<i>Flexural Failure</i>)	22
2.7.2.	Keruntuhan Tarik Diagonal (<i>Diagonal Tension Failure</i>)	23
2.7.3.	Keruntuhan Geser Tekan (<i>Shear Compression Failure</i>)	23
2.8.	Lendutan pada Balok Beton Bertulang	24
2.9.	Tegangan Regangan	28
2.10.	Rasio Tulangan	30
2.11.	Hasil Penelitian Terdahulu	30
2.12.	Hipotesis Penelitian	31
BAB III	METODE PENELITIAN	33
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2.	Variabel Penelitian	33
3.3.	Peralatan dan Bahan Penelitian	33
3.3.1.	Peralatan Penelitian	33
3.3.2.	Bahan Penelitian	34
3.4.	Analisa Bahan	34
3.4.1.	Semen	34
3.4.2.	Air	34
3.4.3.	Agregat	35
3.4.4.	Beton	35
3.4.5.	Tulangan	35
3.4.6.	<i>Sikadur</i>	35
3.4.7.	<i>Additon</i>	35
3.5.	Rancangan Penelitian	35
3.5.1.	Rancangan Benda Uji Tekan	36
3.5.2.	Rancangan Benda Uji Kuat Lentur	36
3.6.	Prosedur Penelitian	37
3.6.1.	Pembuatan Tulangan Pilinan Bambu	37
3.6.2.	Pembuatan Tulangan Baja	38
3.6.3.	Pengujian Kuat Tekan Silinder	38
3.6.4.	Pengujian Kuat Lentur Balok	38

3.7.	Rancangan Analisis Data	41
3.7.1.	P Teoritis	41
3.7.2.	Lendutan Teoritis	42
3.8.	Diagram Alir Tahapan Penelitian	44
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1.	Pengujian Bahan	45
4.1.1.	Analisis Agregat Halus dan Kasar	45
4.1.2.	Perencanaan Campuran Beton Normal	46
4.2.	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	48
4.2.1.	Pembuatan Benda Uji	48
4.2.2.	Perawatan Benda Uji	50
4.3.	Pengujian Kuat Tekan	51
4.4.	Pengujian Kuat Lentur	53
4.4.1.	Pemodelan Beban	53
4.4.2.	Hasil Pengujian Lentur Balok Beton	54
4.4.2.1.	P Maksimum Benda Uji	55
4.4.2.2.	Lendutan Benda Uji	56
4.5.	Analisis Beban Teoritis dan Aktual Balok	60
4.5.1.	Teoritis	60
4.5.2.	Perbandingan Pmaks Teoritis dengan Aktual	64
4.6.	Analisis Lendutan dengan <i>Conjugate Beam</i>	65
4.6.1.	Teoritis	65
4.6.2.	Perbandingan Lendutan Teoritis dengan Aktual	67
4.7.	Pengamatan Pola Retak Balok	68
4.7.1.	Pola Retak A_0a_1 (1)	69
4.7.2.	Pola Retak A_0a_1 (2)	70
4.7.3.	Pola Retak A_0b_1 (1)	71
4.7.4.	Pola Retak A_0b_1 (2)	72
4.7.5.	Pola Retak A_1a_1 (1)	73
4.7.6.	Pola Retak A_1a_1 (2)	74
4.7.7.	Pola Retak A_1b_1 (1)	75
4.7.8.	Pola Retak A_1b_1 (2)	76
4.8.	Lebar dan Panjang Retak Balok	77
BAB V	PENUTUP	83

5.1. Kesimpulan	83
5.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87
DAFTAR SIMBOL	109



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tabel Komposisi Kimia Semen Portland	7
Tabel 2.2	Tabel Ketetapan Nilai Slump	10
Tabel 2.3	Tabel Kadar Air dan Berat Jenis Bambu	14
Tabel 2.4	Tegangan Tarik, Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu	15
Tabel 2.5	Tabel Modulus Elastisitas Lentur dan Tarik Bambu	18
Tabel 2.6	Lendutan Izin Maksimum	27
Tabel 3.1	Variabel dalam Penelitian	32
Tabel 3.2	Faktor Benda Uji Kuat Lentur	35
Tabel 3.3	Variasi Benda Uji Kuat Lentur	35
Tabel 3.4	Form Pengujian Kuat Lentur	35
Tabel 4.1	Hasil Analisis Agregat Kasar (Kerikil)	45
Tabel 4.2	Perencanaan Campuran Beton Normal dengan $f'c = 20$ Mpa	46
Tabel 4.3	Tabel Pengujian Kuat Tekan Beton	51
Tabel 4.4	Beban dan Lendutan Maksimum Balok Beton	54
Tabel 4.5	Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Baja pada Beban Elastis	55
Tabel 4.6	Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Bambu pada Beban Elastis	56
Tabel 4.7	Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata pada Beban Elastis	56
Tabel 4.8	Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Baja pada Beban Maksimum	57
Tabel 4.9	Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Bambu pada Beban Maksimum	58
Tabel 4.10	Persentase Perubahan Lendutan Rata-rata pada Beban Maksimum	58
Tabel 4.11	Perbandingan Beban Maksimum Teoritis dengan Aktual	63
Tabel 4.12	Lendutan Teoritis	66
Tabel 4.13	Perbandingan Lendutan Teoritis dengan Lendutan Aktual	66
Tabel 4.14	Pola Retak Balok Beton	67
Tabel 4.15	Lebar dan Panjang Retak Balok Beton	76



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Ilustrasi Pembebanan pada Balok	5
Gambar 2.2	Potongan Lapisan Bambu	14
Gambar 2.3	Hubungan Tegangan Regangan Bambu dan Baja	16
Gambar 2.4	Perilaku Kembang Susut Tulangan Bambu dalam Beton	17
Gambar 2.5	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang	21
Gambar 2.6	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang Bambu	21
Gambar 2.7	Ragam Keruntuhan pada Balok Beton Bertulang	22
Gambar 2.8	Pola Retak Keruntuhan Lentur	23
Gambar 2.9	Pola Retak Keruntuhan Tarik Diagonal	23
Gambar 2.10	Pola Retak Keruntuhan Geser Tekan	24
Gambar 2.11	Hubungan Beban dengan Lendutan Balok Beton Bertulang	25
Gambar 2.12	Tahap Praretak	25
Gambar 2.13	Variasi Distribusi Tegangan dan Retak pada Balok Beton Bertulang	26
Gambar 2.14	Hubungan Distribusi Tegangan Regangan	28
Gambar 2.15	Diagram Tegangan-Regangan Beton	29
Gambar 3.1	Variasi Benda Uji Kuat Lentur Balok Bertulang	38
Gambar 3.2	Skema Pembebanan dan Pengujian Balok	39
Gambar 3.3	<i>Setting</i> Alat Pengujian Balok	39
Gambar 3.4	Definisi dari Distribusi Tegangan Balok Persegi Bertulangan Bambu	40
Gambar 3.5	<i>Conjugate Beam</i> pada Balok Beton	40
Gambar 3.6	Diagram Alir Tahapan Penelitian	40
Gambar 4.1	Grafik Lengkung Agregat Halus	44
Gambar 4.2	Grafik Lengkung Agregat Kasar	45
Gambar 4.3	Pola Pilinan 1 Buah Tulangan Bambu Pilin	48
Gambar 4.4	Rangkaian Tulangan Baja dengan Sengkang	48
Gambar 4.5	Rangkaian Tulangan Bambu dengan Sengkang	48
Gambar 4.6	Pengujian Slump	49
Gambar 4.7	Proses Pembuatan <i>Capping</i> dari Serbuk Belerang yang Dipanaskan	50
Gambar 4.8	proses <i>Curing</i> pada Benda Uji Balok	50
Gambar 4.9	Proses Pengujian Kuat Tekan Baton	51
Gambar 4.10	Grafik Kuat Tekan Beton	52
Gambar 4.11	Skema Pembebanan Pengujian Kuat Lentur	53
Gambar 4.12	Grafik Persentase Perubahan Lendutan Rata-rata pada Beban Elastis	56
Gambar 4.13	Grafik Persentase Perubahan Lendutan Rata-rata pada Beban Maksimum	58

Gambar 4.14	Grafik Perbandingan P Maksimum Teoritis dengan Aktual	64
Gambar 4.15	Pembebanan <i>Conjugate Beam</i>	65
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Lendutan Teoritis dan Aktual	67
Gambar 4.17	Pola Retak pada Balok A_0a_1 (1) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%) ..	68
Gambar 4.18	Pola Retak pada Balok A_0a_1 (2) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%) ..	69
Gambar 4.19	Pola Retak pada Balok A_0b_1 (1) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%) ..	70
Gambar 4.20	Pola Retak pada Balok A_0b_1 (2) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%) ..	71
Gambar 4.21	Pola Retak pada Balok A_1a_1 (1) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 0,78%)	72
Gambar 4.22	Pola Retak pada Balok A_1a_1 (2) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 0,78%)	73
Gambar 4.23	Pola Retak pada Balok A_1b_1 (1) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 1,05%)	74
Gambar 4.24	Pola Retak pada Balok A_1b_1 (2) Elastis (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 1,05%)	75
Gambar 4.25	Lebar Retak A_0a_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%).....	76
Gambar 4.26	Lebar Retak A_0a_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%).....	77
Gambar 4.27	Lebar Retak A_0b_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)	77
Gambar 4.28	Lebar Retak A_0b_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)	78
Gambar 4.29	Lebar Retak A_1a_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%).....	78
Gambar 4.30	Lebar Retak A_1a_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%).....	79
Gambar 4.31	Lebar Retak A_1b_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)	79
Gambar 4.32	Lebar Retak A_1b_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)	80

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data Pengujian Lentur	85
Lampiran 2	Data Pengujian Tekan	102





RINGKASAN

Reza Fahlevi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Pengaruh Variasi Rasio Tulangan terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Pilin*, Dosen Pembimbing: Roland Martin Simatupang dan Alwafi Pujiraharjo

Salah satu inovasi yang dikembangkan dalam bidang konstruksi untuk mengganti material baja sebagai tulangan beton bertulang adalah pemanfaatan bambu pilin. Berkaitan sebagai material pengganti baja, maka diperlukan adanya pengujian untuk membandingkan respon yang dihasilkan antara tulangan bambu pilin dengan tulangan baja terhadap kuat lentur dan mengetahui pola keretakannya.

Pengujian balok dilakukan dengan memberi beban dua titik di tengah bentang dengan jarak yang simetris. Rasio tulangan yang dibandingkan dalam penelitian kali ini adalah 0,78% dan 1,05%. Perhitungan rasio dilakukan dengan menghitung rasio tulangan bambu pilin lalu dikonversikan dengan tulangan baja yang mendekati luas tulangannya. Masing masing balok memiliki dua sampel untuk balok dengan tulangan bambu pilin dan tulangan baja. Sehingga total benda uji adalah sebanyak 8 buah. Balok yang digunakan berukuran 18 x 25 x 160 cm dengan kuat tekan rencana sebesar 20 MPa. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan interval 100 kg hingga balok mengalami keruntuhan. Pencatatan dilakukan setiap tahapan beban meliputi lendutan, pola retak dan lebar retak.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diketahui dengan peningkatan rasio yang sama bahwa balok bertulangan bambu pilin memiliki respon kuat lentur yang berbeda dengan balok bertulangan baja meliputi P maksimum dan lendutan. P maksimum pada balok dengan tulangan baja memiliki persentase kenaikan sebesar 39.355% sedangkan balok dengan tulangan bambu pilin hanya sebesar 2,083%. Lendutan yang dihasilkan pada balok dengan tulangan baja memiliki persentase hampir dua kali lendutan balok dengan tulangan bambu pilin. Beban dan lendutan teoritis menghasilkan grafik yang sesuai dengan beban dan lendutan aktual kecuali pada balok tulangan baja dengan rasio 1,05%. Pola retak yang terjadi pada kedua jenis tulangan relatif sama dengan diawali retak dibagian bawah balok dan merambat lurus ke atas dan untuk lebar retak balok pada kedua jenis tulangan tidak memenuhi lebar izin sebesar 0,41 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kenaikan rasio pada balok menggunakan tulangan bambu pilin tidak memberikan respon kuat lentur yang sama dengan kenaikan rasio pada balok bertulangan baja.

Kata kunci: Tulangan Bambu Pilin, Tulangan Baja, Peningkatan Rasio Tulangan, Kuat Lentur, Pola Retak.



SUMMARY

Reza Fahlevi, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering of Brawijaya University, Januari 2017, *Ratio Variation Effect on Flexural Strength of Knitted Bamboo Reinforced Beam*, Academic Supervisor: Roland Martin Simatupang and Alwafi Pujiraharjo

One of the innovations developed in the field of construction for steel materials as concrete reinforcement is knitted bamboo. As a steel replacement material, it is necessary to test to compare the response between knitted bamboo reinforcement and steel reinforcement to the flexural strength and cracking pattern.

Beam testing is done by giving two load points in the middle of the beam with a symmetrical distance. The reinforcement ratios in this research were 0.78% and 1.05%. Ratio calculation is done by calculating the ratio of knitted bamboo reinforcement, then converting it with steel reinforcement. Each type and ratios of reinforcement has two samples. The total number of the test objects is 8 pieces. The reinforced concrete beam size is 18 x 25 x 160 cm with 20 MPa stress strength plan. The loading is done gradually at 100 kg intervals until the beam collapses. The result are recorded every loading stage including the beam deflection, crack pattern and crack width.

Based on the tests already performed, it is known that the same ratio increase with the knitted bamboo reinforced beam reinforcement has a distinct flexible response with the reinforced steel beam of maximum load and deflection. The maximum load on steel reinforcement beam has a percentage improvement with 39,355% while the knitted bamboo reinforcement beam is only with 2.083%. The result of deflection in the beam with the steel reinforcement has a percentage of almost twice the deflection of the beam with the knitted bamboo reinforcement. The theoretical ratios and deflections produce a corresponding graph except for the steel reinforcement beam with 1.05% ratios. The crack patterns present in both types of reinforcement are relatively similar to the beginning of the crack at the bottom of the beam and propagate straight upward, and for the crack widths on both types of beam reinforcement does not meet the permit width of 0.41 mm. It can be concluded that the ratio increasing of the beam using knitted bamboo reinforcement does not provide the same flexural strength response to the ratio increasing of the reinforced steel beam.

Keywords: *Knitted Bamboo Reinforcement, Steel Reinforcement, Increased Ratio Reinforcement, Flexural Strength, Crack Pattern.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi yang digunakan di Indonesia saat ini pada umumnya menggunakan beton bertulang. Beton bertulang merupakan struktur komposit atau struktur gabungan dimana pada umumnya menggunakan gabungan antara beton dengan tulangan baja. Beton merupakan campuran antara air, semen, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil). Beton digunakan sebagai material penahan tegangan tekan akibat beban, sedangkan baja digunakan sebagai tulangan untuk menahan tegangan tarik yang terjadi pada beton. Namun penggunaan baja sebagai tulangan saat ini menyebabkan menipisnya cadangan baja di alam, karena baja termasuk bahan tambang yang tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu diperlukan alternatif untuk menggantikan baja. Salah satu alternatif material yang banyak diteliti adalah bambu.

Penggunaan bambu sebagai pengganti tulangan baja telah banyak diteliti dan menjadi salah satu material alternatif dalam rekayasa konstruksi saat ini. Morisco (1999) meneliti bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan karena memiliki kuat tarik yang tinggi mendekati kekuatan tulangan baja konvensional ($f_y=240$ MPa). Penelitian lain dilakukan oleh Budi (2013) mengenai kekuatan beton yang dikombinasikan dengan tulangan bambu. Penelitian dilakukan dengan pengujian kuat lentur balok berukuran 11 x 15 x 170 cm yang diberi beban 500 kg. Hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan selisih kuat lentur balok bertulangan bambu petung dengan balok bertulangan baja sebesar 13%. Kedua pengujian tersebut menunjukkan bahwa bambu dapat digunakan sebagai material pengganti tulangan baja.

Keunggulan bambu sebagai tulangan beton bertulang antara lain adalah karena harga yang relatif murah, *renewable resource* atau sumber daya yang dapat diperbarui, mudah ditanam, pertumbuhannya cepat, serta memiliki kuat tarik yang tinggi. Namun bambu juga memiliki beberapa kekurangan yaitu memiliki kuat lekat yang rendah dengan beton karena setelah campuran beton mengeras bambu akan mengalami penyusutan dan menimbulkan rongga karena tidak dapat menyerap air. Solusi yang dapat digunakan adalah dengan memberikan pelapis pada bambu menggunakan cat atau vernis dan pasir (Dewi, 2005).

Penelitian mengenai penggunaan bambu sebagai tulangan pengganti baja dikembangkan oleh Pathurahman dan Dwi (2003) dengan menggunakan pilinan pada bambu. Tulangan bambu pilinan dari bambu galah dengan diameter 12 mm menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan antara momen retak awal (eksperimen) dengan momen perhitungan (teoritis) sebesar 115,26%, sehingga bambu pilinan memiliki peluang untuk digunakan sebagai pengganti tulangan, khususnya struktur beton sederhana.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah diuraikan, penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui lebih dalam mengenai penggunaan bambu pilin sebagai alternatif pengganti tulangan baja dengan meninjau respon peningkatan rasio tulangan balok bertulangan bambu pilin terhadap kuat lentur balok bertulangan baja.

1.2 Identifikasi Masalah

Inovasi yang dilakukan di bidang konstruksi dalam mencari alternatif pengganti tulangan baja adalah dengan menggunakan bambu pilin. Penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya mengungkapkan bahwa bambu dapat menambah kuat tarik beton bertulang. Namun pola pilinan tulangan bambu yang memiliki rongga pada permukaannya menyebabkan perhitungan luas tulangan antara tulangan bambu dengan baja berbeda. Hal ini berpengaruh terhadap penentuan rasio tulangan yang akan digunakan pada perencanaan balok beton bertulang. Untuk itu perlu diadakan penelitian untuk mengetahui pengaruh peningkatan rasio tulangan pada balok bertulangan bambu pilin terhadap kuat lentur balok bertulangan baja.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh peningkatan rasio tulangan balok bertulangan bambu pilin terhadap kuat lentur balok bertulangan baja?
2. Bagaimana hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) aktual dengan beban (P) dan lendutan (Δ) teoritis?
3. Bagaimana pengaruh peningkatan rasio tulangan pada balok bertulangan bambu pilin terhadap pola retak dan penyebarannya pada balok bertulangan baja?

1.4 Batasan Penelitian

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, beberapa batasan masalah yang diberikan antara lain sebagai berikut :

1. Benda uji kuat lentur berupa balok beton dengan panjang 160 cm, lebar 18 cm dan tinggi 25 cm.
2. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung yang dipilin.
3. Balok bertulangan bambu pilin menggunakan tulangan dengan dimensi 4 x 4 mm sebanyak 3 batang untuk satu buah tulangan bambu pilin dengan rasio 0,78% dan tulangan dengan dimensi 5 x 5 mm sebanyak 3 batang untuk satu tulangan bambu pilin dengan rasio 1,05%.
4. Balok bertulangan baja menggunakan tulangan berdiameter $\varnothing 8$ mm dengan rasio 0,78% dan tulangan berdiameter $\varnothing 10$ mm dengan rasio 1,05%.
5. Balok bertulangan bambu pilin menggunakan 3 buah tulangan bawah dan 2 buah tulangan atas untuk masing-masing rasio 0,78% dan 1,05%.
6. Balok bertulangan baja menggunakan 4 buah tulangan bawah dan 2 buah tulangan atas untuk rasio 0,78% dan 3 buah tulangan bawah dan 2 buah tulangan atas untuk rasio 1,05%.
7. Digunakan tulangan baja polos berdiameter $\varnothing 6$ mm sebagai sengkang tulangan.
8. Mutu beton yang direncanakan adalah $f'c = 20$ MPa.
9. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Pozzolan Cement* (PPC).
10. Pasir yang digunakan adalah pasir lokal Malang.
11. Digunakan Additon sebagai katalis untuk mempercepat umut beton.
12. Pengujian dilakukan pada saat balok beton berumur 10 hari.
13. Pengaruh lingkungan diabaikan
14. Pembebanan dilakukan dengan kondisi dua titik pembebanan.

1.5 Tujuan Penelitian

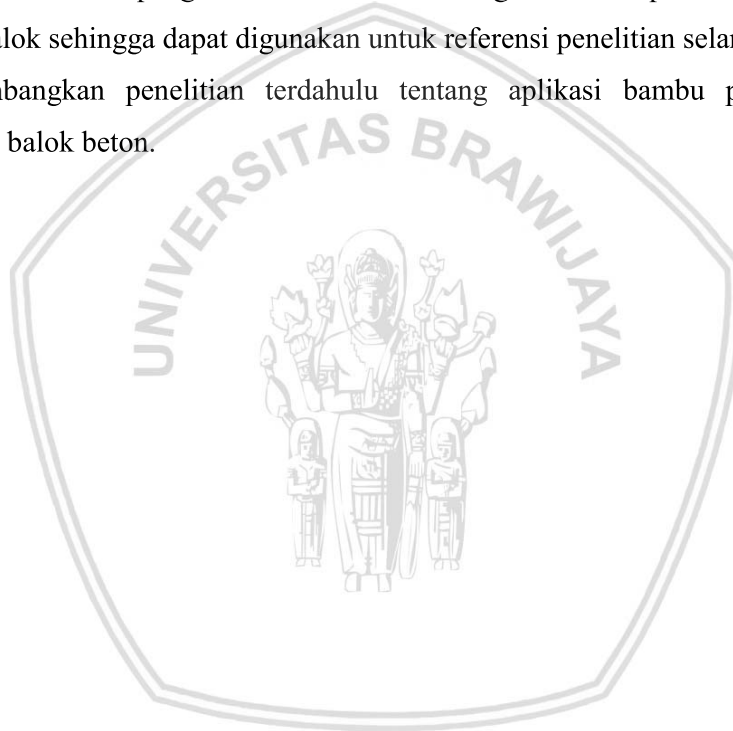
Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui respon peningkatan rasio tulangan balok bertulangan bambu pilin terhadap kuat lentur balok bertulangan baja.
2. Untuk mengetahui hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ) aktual dengan beban (P) dan lendutan (Δ) teoritis.
3. Untuk mengetahui respon peningkatan rasio tulangan pada balok bertulangan bambu pilin terhadap pola retak dan penyebarannya.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi kalangan praktisi lapangan, antara lain:
 - a. Sebagai alternatif pemilihan bahan bangunan yang terjangkau dan memiliki kekuatan dan kelayakan yang dapat menggantikan baja sebagai bahan konstruksi yang ramah lingkungan.
 - b. Sebagai referensi mengenai rasio tulangan dalam pemilihan tulangan bambu pilin tanpa mengurangi aspek kuat lentur suatu struktur.
2. Bagi kalangan akademisi, antara lain:
 - a. Sebagai informasi pengaruh variasi rasio tulangan bambu pilin terhadap kuat lentur balok sehingga dapat digunakan untuk referensi penelitian selanjutnya.
 - b. Mengembangkan penelitian terdahulu tentang aplikasi bambu pilin sebagai tulangan balok beton.

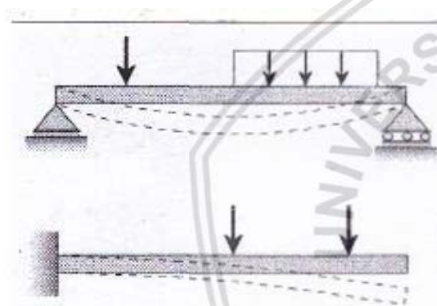


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok

Balok (*beam*) merupakan bagian dari struktur yang berfungsi sebagai pemikul beban transversal. Suatu balok dapat dianalisa secara lengkap apabila diagram gaya geser dan diagram momennya telah diperoleh. Balok merupakan salah satu struktur yang mengalami beban secara tegak lurus pada sumbu batang. Beban yang terjadi merupakan beban lateral, gaya-gaya atau momen.



Gambar 2.1 Ilustrasi Pembebanan pada Balok

2.2 Beton

Beton merupakan bahan bangunan komposit atau campuran. Campuran pada beton diantaranya adalah agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), semen sebagai bahan pengikat, dan air.

Beton memiliki nilai daktilitas yang tinggi dan memiliki kuat tekan yang tinggi dibandingkan kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya.

2.2.1 Bahan Penyusun Beton

2.2.1.1 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk *melumas* campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan. (Nawy, 2005)

2.2.1.2 Semen

Semen adalah material yang dapat menyebabkan fragmen-fragmen mineral melekat menjadi suatu massa yang padat karena sifat adhesif dan kohesifnya. Komposisi semen portland pada umumnya terdiri dari kapur (CaO) sekitar 60%-65%, silica (SiO_2) sekitar 20%-25%, dan oksida besi serta alumina (Fe_2O_3 dan Al_2O_3) sekitar 7%-12%. Sedangkan oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen berupa senyawa C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF .

Semen yang dipakai dalam campuran dipilih 5 tipe semen yang sesuai dengan kebutuhan konstruksi, yaitu :

a. Tipe I

Semen Portland untuk penggunaan konstruksi beton yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus. Semen ini adalah jenis semen yang umumnya digunakan dalam pengerjaan konstruksi.

b. Tipe II

Semen jenis umum dengan perubahan-perubahan (Modified Portland Cement). Yaitu jenis semen yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi.

c. Tipe III

Semen Portland dengan kekuatan awal tinggi (High Early Strength Portland Cement). Jenis ini untuk struktur yang menuntut kekuatan yang tinggi atau cepat mengeras.

d. Tipe IV

Semen Portland dengan panas hidrasi yang rendah (Low Heat Portland Cement). Jenis ini khusus untuk penggunaan panas hidrasi serendah rendahnya.

e. Tipe V

Semen Portland dengan ketahanan terhadap sifat asam yang tinggi. Biasanya semen jenis ini digunakan khusus untuk penggunaan bangunan-bangunan yang terkena sulfat seperti di tanah, atau di air yang tinggi kadar alkalinnya.

Kekuatan semen adalah hasil dari proses hidrasi yang berupa rekristalisasi yang mengakibatkan pembentukan gel semen. Gel semen tersebut akan mempunyai kekuatan tekan yang tinggi apabila mengeras. Berdasarkan komposisi kimianya, semen portland dibedakan menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.1 (Nawy,1998).

Tabel 2.1

Tabel Komposisi Kimia Semen Portland

Jenis Semen	Komponen (%)							Karakteristik Umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Normal, I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
Modifikasi, II	46	29	6	12	2,8	0,6	3,0	Relatif sedikit pelepasan panas; digunakan untuk struktur besar
Kekuatan awal tinggi III	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari
Pemanasan rendah, IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Dipakai pada bendungan beton
Tanah Sulfat, V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspos terhadap sulfat

2.2.1.3 Agregat

Agregat merupakan komponen pada beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya volume beton sekitar 60% sampai 80% volume beton. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran kasar.

Dua jenis agregat adalah:

- Agregat halus (pasir alami dan buatan)
- Agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan pecahan dari blast-furnace) (Nawy, 1998).

- **Agregat Halus**

Agregat halus (pasir) adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir dengan ukuran yang bervariasi dengan standar Amerika antara ukuran No.4 dan No.100. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan-bahan yang dapat merusak campuran beton seperti bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No.100, atau bahan-bahan lainnya. Gradasi pada variasi ukuran dalam campuran beton harus sesuai dengan standar analisis saringan ASTM (*American Society of Testing and Materials*) (Nawy, 1998).

Pasir yang digunakan sebagai bahan penyusun beton harus memenuhi beberapa syarat, yaitu sebagai berikut.

1. Keras dan Berbutir tajam
2. Bersifat kekal, yaitu jika terjadi perubahan cuaca seperti hujan dan terik matahari tidak mudah lapuk dan hancur.
3. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 5% dari berat keringnya, jika lebih maka harus di cuci terlebih dahulu.
4. Tidak boleh mengandung garam yang bisa menyebabkan baja berkarat dan beton menjadi rusak, dalam hal ini bisa dikatakan pasir laut yang mengandung garam.

- **Agregat Kasar**

Agregat kasar (kerikil) adalah agregat yang semua butirannya tertinggal di atas ayakan dengan lubang 4.8 mm. Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel dan semen. (Nawy, 1998).

Jenis Agregat kasar pada umumnya adalah :

a. Batu Pecah Alami

Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali. Batu ini menghasilkan kekuatan yang tinggi pada beton, namun batu ini kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.

b. Kerikil Alami

Didapatkan dari proses pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh aliran sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.

c. Agregat Kasar Buatan

Agregat kasar buatan berupa *slag* atau *shale* yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti *blast-furnance* dan lain lain.

d. Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat

Agregat ini diklasifikasikan antara lain baja pecah, barit, magnatit, dan limonit. Pasir dan Kerikil harus bergradasi baik yang berarti bidang kosong antara kerikil dapat diisi dengan pasir, sehingga didapat susunan yang padat. Pasir dan kerikil tidak boleh mengandung bahan reaktif alkali dan bahan organik yang merusak beton. Pada jenis pekerjaan beton, pasir dan kerikil sering dipakai bahan tambahan yang berfungsi untuk memperbaiki sifat beton baik dalam hal proses beton maupun penyusunannya.

2.2.1.4 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen (FAS) atau *Water Cement Ratio* (WCR) adalah perbandingan antara jumlah air dengan jumlah semen dalam campuran beton. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan bahan merusak yang mengandung oli, asam alkali, atau bahan bahan lainnya yang merugikan terhadap beton.

Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali memenuhi ketentuan tertentu berdasarkan SNI 03-2847-2002 “ 1). Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau ulangan. 2). Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terdandung dalam agregat tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang

membahayakan. 3). Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali memenuhi beberapa ketentuan.”

2.2.1.5 Slump Test

Slump Test merupakan salah satu pengujian sederhana untuk mengetahui mutu atau *workability* beton yang akan dicampur.

Workability suatu beton terdiri dari :

1. Homogenitas atau kerataan adukan campuran beton.
2. Kelekatan adukan semen.
3. Kemampuan alir beton.
4. Kemampuan mempertahankan kelekatan dan kerataan saat dipindahkan atau diangkut.
5. Tingkat plastisitas beton saat beton masih segar.

Selain besarnya nilai *slump* dan tampilan visual campuran beton, jenis dan sifat keruntuhan juga harus diperhatikan saat pengujian *slump*. Ketetapan nilai *slump* dapat mengacu pada tabel berikut:

Tabel 2.2

Tabel Ketetapan Nilai Slump

Pemakaian beton (sesuai jenis struktur)	Tinggi	
	Maks (cm)	Min (cm)
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, Caisson dan struktur dibawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembeton massa	7,5	2,5

2.2.2 Kuat Tekan Beton

Pengetahuan tentang sifat sifat beton bertulang sangat penting diketahui sebelum mendesai struktur, salah satu sifat yang harus diketahui adalah kuat tekan pada beton. Kuat

tekan beton f'_c ditentukan dengan melakukan uji kegagalan terhadap silinder yang berumur 28 hari pada tingkat pembebanan tertentu.

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas. Kuat tekan pada beton menyebabkan benda uji beton hancur apabila di bebani dengan gaya tekan tertentu yang dilakukan oleh mesin tekan. Kuat desak beton merupakan sifat terpenting dalam menentukan kualitas beton disbanding dengan sifat sifat yang lainnya. Kekuatan desak beton ditentukan dari pengaturan perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air.

Perbandingan dari air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan desaknya. Jumlah tertentu pada air diperlukan untuk memberikan reaksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan (mudahnya beton untuk dicorkan) akan tetapi menurunkan kekuatan (Chu Kia Wang dan C. G. Salmon, 1990).

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dengan :

f'_c = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban yang diberikan (N)

A = Luas penampang yang tertekan (mm²)

Kekuatan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 3000 sampai 6000 psi dan beton komersial dengan agregat biasa, kekuatannya sekitar 300 sampai 10000 psi (Nawy, 1998).

2.2.3 Kuat Lentur Beton

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horizontal) atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari regangan yang timbul karena adanya beban luar. (Nawy, 1998)

Bentang pada balok mengalami retak lentur dikarenakan adanya deformasi dan regangan yang diakibatkan adanya pertambahan beban pada balok tersebut. Pada saat beban luar mencapai kapasitas elemen taraf pembebanan disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Suatu balok yang terbuat dari material yang elastis linear, isotropis, dan homogen, maka tegangan lentur maksimum dapat di peroleh dengan menggunakan rumus $f = \frac{Mc}{I}$, Tegangan tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan tersebut menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut.

1. Distribusi regangan dianggap linier, asumsi ini berdasarkan hipotesis bernaui yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil yaitu 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

2.3 Bambu

Bambu merupakan tanaman sebangsa rumput yang banyak tumbuh di Indonesia. Bambu secara botanis dapat digolongkan pada family Graminese (rumput). Tanaman ini dapat tumbuh di daerah beriklim panas maupun dingin. Bambu merupakan tanaman jenis rerumputan dengan rongga dan ruas di batangnya. Bambu juga merupakan jenis tanaman yang pertumbuhan nya cepat. Dalam sehari bambu dapat tumbuh sekitar 60cm bahkan lebih, tergantung pada kondisi tanah dan klimatologi tempat bambu tersebut ditanam.

Dalam penggunaannya di masyarakat, bambu merupakan calon bahan bangunan masa depan pengganti kayu, karena masa tanam kayu 30 – 40 tahun sedangkan masa tanam bambu hanya sekitar 3 – 5 tahun. Namun, bahan bambu sebagai bahan bangunan terkadang menemui beberapa keterbatasan. Faktor yang sangat mempengaruhi bahan bambu adalah sifat fisik dari bambu yang membuatnya sukar dikerjakan secara mekanis, variasi dimensi dan ketidakseragaman panjang ruasnya, serta kurang awet nya bahan bambu.

Di Indonesia, penggunaan bambu sebagai bahan bangunan sangat potensial karena dari 1400 jenis bambu di dunia sekitar 10% nya ada di Indonesia. Walaupun bambu memiliki banyak keunggulan namun pemanfaatannya saat ini masih kurang optimum, karena pemakaian bambu masih secara tradisional.

- **Kelebihan dan Kekurangan Bambu**

Beberapa kelebihan dari bambu adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis bambu lebih ringan
2. Mudah dalam pengerjaan
3. Mudah dalam penyambungan
4. Biaya relatif murah
5. Kuat, lebih tahan terhadap gempa
6. Memiliki daya lentur yang tinggi

Sedangkan kekurangan dari bambu antara lain :

1. Tidak kuat dalam menahan beban tekan
2. Tidak tahan terhadap serangan rayap, cendawan dan serangga lain
3. Tidak tahan dengan adanya perubahan cuaca
4. Mudah lapuk
5. Mudah terbakar

- **Karakter Fisik Bambu**

Karakter fisik bambu adalah sebagai berikut.

1. Tinggi bambu bervariasi antara 10 – 30 m, diameter antara 1 – 30 cm
2. Bambu mudah di robek terutama pada daerah antar ruas
3. Pada bagian pangkal bambu memiliki daya tahan lebih besar daripada bagian tengah dan ujung
4. Kandungan air pada bambu bervariasi, bervariasi sesuai dengan umur tanaman dan musim. Bambu yang lebih tua kandungan airnya lebih sedikit daripada yang lebih muda. Berikut adalah tabel kadar air dan berat jenis bambu :

Tabel 2.3

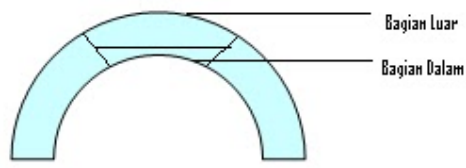
Tabel Kadar Air dan Berat Jenis Bambu

Posisi	Nomor	Bambu Basah		Bambu Kering Udara	
		Kadar Air (%)	Berat Jenis	Kadar Air (%)	Berat Jenis
Pangkal	1	38,610	0,634	5,381	0,646
	2	34,256	0,680	4,390	0,663
	3	35,361	0,603	5,909	0,682
	Rata-rata	36,076	0,639	5,227	0,664
Tengah	1	41,129	0,695	6,250	0,711
	2	36,402	0,701	6,926	0,702
	3	35,965	0,712	6,859	0,769
	Rata-rata	37,832	0,703	6,678	0,727
Ujung	1	38,699	0,754	6,034	0,763
	2	36,078	0,712	8,756	0,697
	3	35,517	0,686	6,818	0,820
	Rata-rata	36,765	0,717	7,203	0,760

Sumber : Triwiyono dan Morischo (2000).

2.3.1 Bambu Bagian Luar dan Bambu Bagian Dalam

Dalam penelitian Morisco untuk mengetahui perbedaan kekuatan bambu dari bagian luar dan bagian dalam, maka dibuat spesimen dengan bambu dibelah tangensial tebal sekitar $\frac{1}{2}$ dari bambu utuh. Bagian sisi yang ada kulitnya mewakili bambu bagian luar, sedangkan sisanya mewakili bambu bagian dalam. Hasil menunjukkan bahwa bambu bagian luar mempunyai kekuatan jauh lebih tinggi daripada bambu bagian dalam. Kekuatan tinggi ini diperoleh dari kulit bambu yang terdiri dari unsur silika.



Gambar 2.2 Potongan Lapisan Bambu.

2.3.2 Bambu Sebagai Tulangan Beton

Bambu merupakan salah satu sumber bahan bangunan yang dapat diperbaharui. Bambu yang mendapatkan perlakuan yang benar akan menghasilkan produk bambu yang bagus dan layak untuk dijadikan bahan bangunan. Salah satu penggunaan bambu sebagai bahan bangunan adalah sebagai tulangan beton. Penggunaan bambu sebagai tulangan pada beton merupakan alternatif pengganti tulangan baja dan telah banyak diteliti oleh peneliti-peneliti terdahulu. Bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi sehingga cocok jika dikombinasikan dengan beton yang memiliki kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah.

Sebagai tulangan beton, bambu memiliki beberapa kelebihan yaitu bambu lebih murah daripada baja, merupakan konstruksi yang ringan, dan memiliki kuat tarik yang cukup tinggi. Namun, bambu juga memiliki beberapa kelemahan sebagai tulangan beton, daya lekat pada bambu dengan beton kurang bamboo, muda menyerap air dan mudah lapuk. Sehingga perlu beberapa perlakuan khusus saat menjadikan bambu sebagai tulangan beton.

2.3.3 Kuat Tarik Bambu

Morisco (1999) mengemukakan bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan didasarkan pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan cepat, mudah ditanam, mudah dikerjakan, serta keunggulan spesifik yaitu memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Pengujian kuat tarik dilakukan pada bambu Ori, bambu Petung, bambu Wulung dan bambu Tutul. Hasil pengujiannya ditampilkan dalam Tabel 2.4, dan Gambar 2.3.

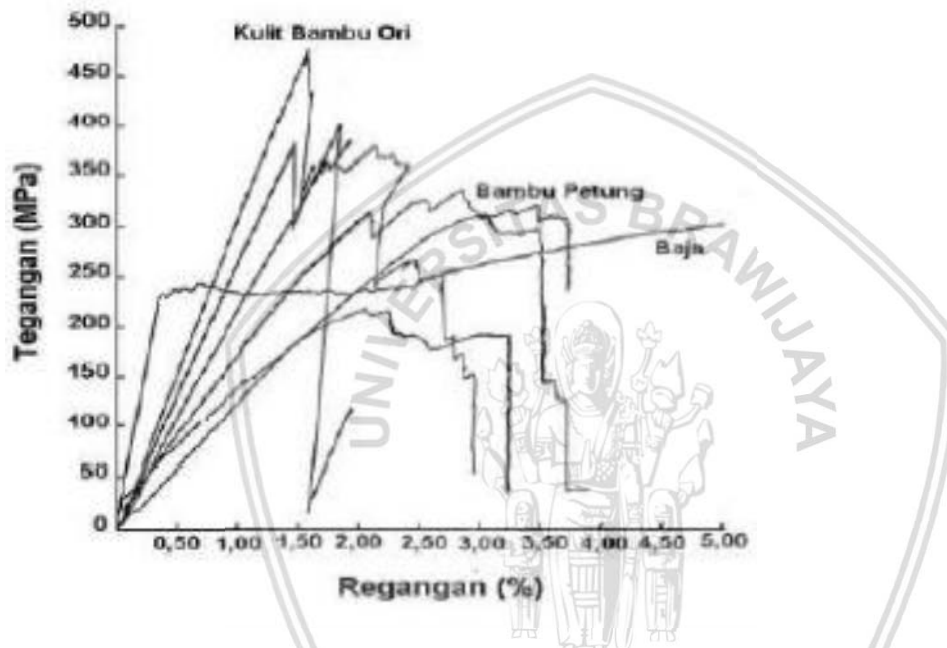
Tabel 2.4

Tegangan Tarik, Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tapa Nodia	Dengang Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan izin (kg/cm ²)
Tarik	981-3920	294.20
Lentur	686-2940	98.07
Tekan	245-981	78.45
E/Tarik	196.1x10 ³	196.1x10 ³

Sumber: Morischo (1999)



Gambar 2.3 Hubungan Tegangan Regangan Bambu dan Baja

2.3.4 Kuat Tekan Bambu

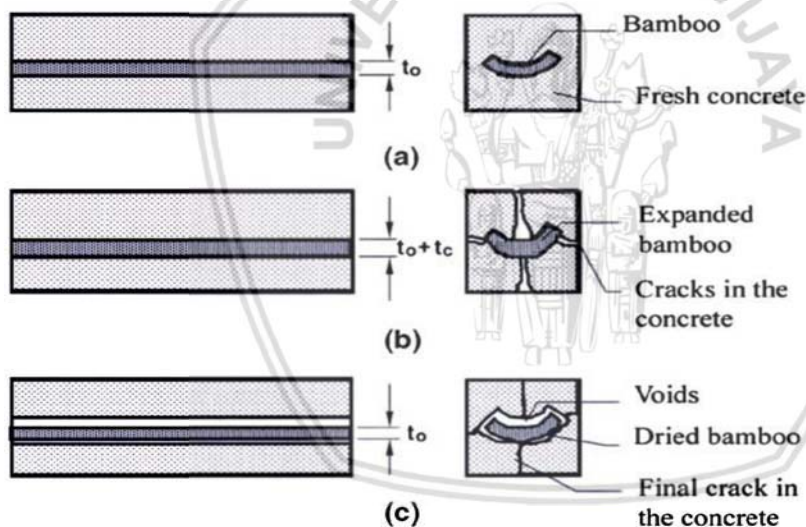
Kekuatan tekan merupakan kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 2003).

2.3.5 Perlakuan pada Bambu sebagai Tulangan Beton

Ghavarni (2004) menyatakan bahwa penelitian mengenai bambu sebagai pengganti tulangan didalam beton bertulang telah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto rico. Peningkatan kekuatan atau adhesi antara tulangan dengan beton dapat mencegah terjadinya selip. Bambu memiliki sifat higroskopis yang tinggi, sehingga memiliki kemampuan kembang susut yang tinggi. Sehingga penggunaan bambu sebagai tulangan

bambu perlu diberi perlakuan khusus yaitu dilapisi lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir sehingga permukaan bambu menjadi kasar dan daya lekat bambu terhadap beton menjadi tinggi.

Penggunaan bambu sebagai tulangan pada beton akan mengalami perilaku yang berbeda saat pengerasan apabila tidak diberi lapisan kedap air. Pada saat mortar masih dalam keadaan basah tulangan bambu akan mengembang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Hal tersebut terjadi karena tulangan bambu yang tidak dilapisi oleh lapisan kedap air akan menyerap air pada mortar yang masih segar. Pada saat bambu menyerap air dari mortar bambu akan mengembang sehingga menimbulkan retakan pada mortar setelah mengering seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada waktu yang lama mortar akan mengering dan retakan yang timbul akan semakin membesar, bambu akan mengalami pengerutan dan pembusukan akibat adanya kontak dengan udara luar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Perilaku Kembang Susut Tulangan Bambu dalam Beton

Sumber : Khosrow Gavami (2005)

Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air.

- (a) Bambu dalam beton segar
- (b) Bambu menyerap air dan mengembang pada masa perawatan mortar
- (c) Bambu mengerut setelah masa perawatan beton

2.3.6 Modulus Elastisitas Bambu

DPMB (1984) Hasil penelitian sifat mekanika modulus elastisitas bambu untuk tulangan bambu adalah sebagai berikut.

Tabel 2.5

Tabel Modulus Elastisitas Lentur dan Tarik Bambu

Tabel Modulus Elastisitas Lentur Bambu (MPa)

Jenis Bambu	Minimum		Masimum		Rata-rata	
	Dengan buku	Tanpa buku	Dengan buku	Tanpa buku	Dengan buku	Tanpa buku
B. Apus	1075	1340	17033	19359	5741	12133
B. Temen	2862	3667	29596	22789	5662	12139
B. Petung	3267	12249	26672	31547	10329	21658

Tabel Modulus Elastisitas Tarik Bambu (MPa)

Jenis Bambu	Minimum		Masimum		Rata-rata	
	Dengan buku	Tanpa buku	Dengan buku	Tanpa buku	Dengan buku	Tanpa buku
B. Apus	4467	7796	16105	24455	8908	15225
B. Temen	9193	2435	23984	89845	16091	29636
B. Petung	12533	18989	19516	82645	14864	32079

2.4 Pelapis

Pelapis yang digunakan merupakan bahan yang kedap air, yang berfungsi mengurangi sifat higroskopis pada bambu. Bahan pelapis yang digunakan pada tulangan bambu dapat berupa melamin, sikadur 31, cat atau vernis.

Lekatan antara tulangan bambu dan beton kurang baik, dapat diatasi dengan penambahan bahan pelapis kedap air. Ada banyak bahan pelapis yang dapat digunakan untuk melapisi permukaan bambu yaitu seperti misalnya Vernis dan juga Epoxy (Pathurahman, dkk, 2003).

2.5 Kuat Lekat Antara Tulangan dan Beton

Tulangan pada struktur beton bertulangan berfungsi sebagai pengganti kapasitas tarik dari material beton yang lemah. Kemudian tegangan tarik yang terjadi pada beton

disalurkan ke tulangan melalui lekatan. Kuat lekat tulangan pada beton dapat ditingkatkan tergantung pada kesesuaian antara kedua bahan untuk dapat bekerja sama memikul beban luar.

Menurut Winter (1993), salah satu persyaratan dari sebuah konstruksi bangunan adalah adanya lekatan antara tulangan dengan beton. Kuat lekat ditimbulkan akibat adanya saling geser antara tulangan dan beton sekelilingnya. Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara tulangan dan beton.

Kuat lekat antara beton dan tulangan akan berkurang jika mendapatkan tegangan yang tinggi karena terjadi retak-retak pada beton. Apabila hal tersebut terus terjadi akan mengakibatkan retakan yang terjadi semakin lebar dan akan terjadi defleksi pada balok.

Kekuatan lekatan dihasilkan dari berbagai parameter, seperti adesi antara beton dengan permukaan tulangan baja dan tekanan beton kering terhadap tulangan atau kawat baja adalah akibat adanya susut pengeringan pada beton. Efek total ini yang biasa disebut dengan lekatan (*bond*) disebabkan saling bergeseknya permukaan baja dan beton di sekitarnya, hal tersebut dikarenakan perpindahan mikro tulangan tarik, yaitu peningkatan tahanan terhadap gelincir.

Menurut Nawy (1998) kekuatan lekatan tergantung pada faktor-faktor sebagai berikut.

1. Reaksi adhesi antara elemen beton dan bahan penguatnya (tulangan baja).
2. Efek gripping akibat dari penyusutan beton waktu pemeliharaan yang terjadi disekeliling tulangan dan tergesernya tulangan dari beton di sekitarnya.
3. Tahanan gesekan (friksi).
4. Efek kualitas beton dan kekuatan tarik dan tekannya.
5. Pengaruh mekanis pada ujung tulangan.
6. Diameter, bentuk, dan jarak tulangan karena kesemuanya mempengaruhi pertumbuhan retak.

Ada tiga jenis percobaan yang dapat menentukan kualitas lekatan elemen tulangan, yaitu dengan menggunakan percobaan *pull-out*, percobaan *embedded-rod*, dan percobaan *balok*. Percobaan *pull-out* menunjukkan perbandingan antara efisiensi lekatan berbagai jenis permukaan tulangan dan panjang penanamannya. Dalam percobaan *pull-out* beton mengalami tekan dan tulangan mengalami tarik. Percobaan *embedded-rod*, pada percobaan ini pertambahan tegangan lekatan dan kekuatan lekatan ditunjukkan dengan banyak retak, lebarnya dan jarak antaranya untuk berbagai taraf pembebanan, serupa dengan perilaku

balok dimana bertambahnya lebar retak secara terus menerus menyebabkan bertambahnya gelincir tulangan, dan dapat menyebabkan keruntuhan pada balok tersebut.

2.6 Kapasitas Lentur pada Balok Beton Bertulang

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik berupa beban hidup, beban mati maupun beban lain seperti beban angin ataupun beban karena susut dan beban yang bekerja karena perubahan temperatur akan menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur.

Menurut Nawy (1998), apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur, kecuali untuk komponen struktur yang khusus seperti pondasi.

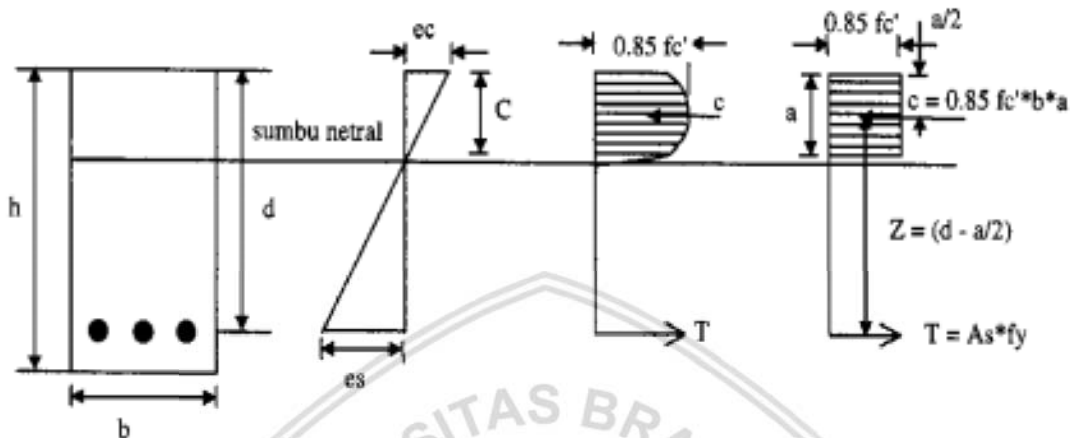
Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut.

- a) Distribusi regangan dianggap linier, asumsi ini berdasarkan hipotesis bernauli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
- b) Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja
- c) Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil yaitu 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

Agar keseimbangan gaya horisontal terpenuhi, gaya tekan C pada beton dan gaya tarik T pada tulangan harus saling mengimbangi, maka $C = T$, distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok dapat dilihat pada Gambar 2.5.

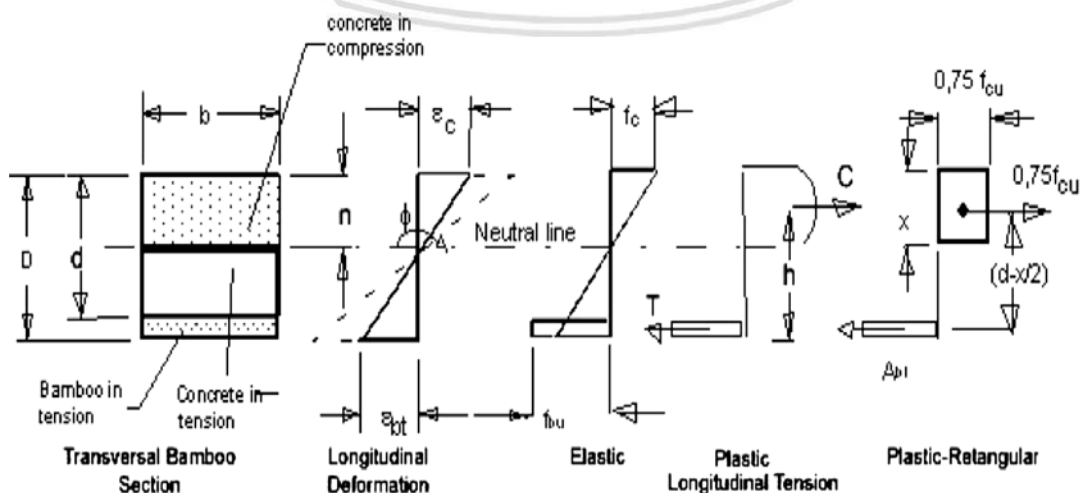
Menurut Dipohusodo (1994:28) pada penampang balok kondisi awal baja tulangan dianggap teregang secara serempak dengan nilai regangan diukur pada pusat beratnya.

Namun, distribusi tegangan tekan aktual yang terjadi memiliki bentuk parabola sehingga Whitney mengusulkan untuk menggunakan tegangan segiempat ekuivalen yang dapat memudahkan perhitungan gaya tekan tanpa harus kehilangan ketelitian (Nawy, 1998:82).



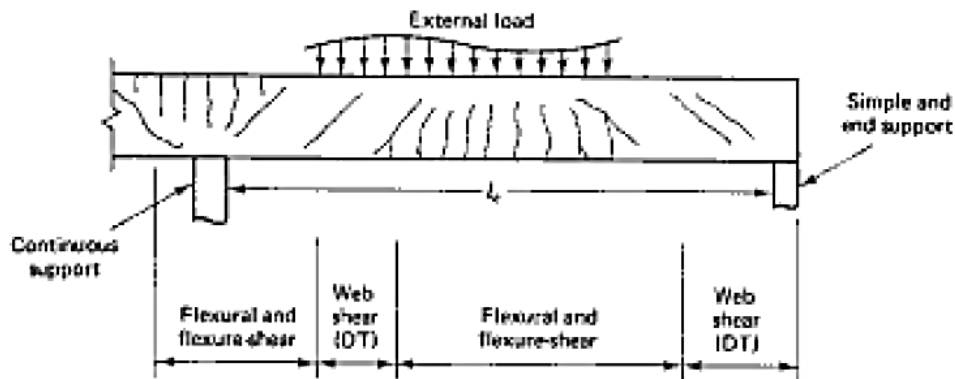
Gambar 2.5 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang

Analisa mengenai kapasitas lentur pada balok bertulangan bambu telah dilakukan oleh Ghavarni (2005). Distribusi tegangan dan regangan pada balok bertulangan bambu dapat dilihat pada Gambar 2.6. Analisa balok bertulangan bambu menggunakan prinsip keseimbangan antara gaya tekan pada beton (C) dan pada tulangan bambu (T). Gaya tarik pada tulangan bambu (T) diperoleh dari hasil perkalian tegangan lekatan (*pull-out*) dengan luas geser. Hal ini berdasarkan keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulangan bambu diakibatkan oleh hilangnya lekatan antara tulangan bambu dengan beton.



Gambar 2.6 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang Bambu

2.7 Keruntuhan pada Balok Beton Bertulang

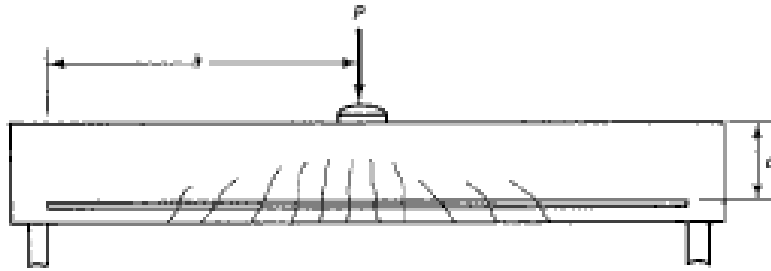


Gambar 2.7 Ragam Keruntuhan pada Balok Beton Bertulang

Ragam keruntuhan balok merupakan fungsi dari kelangsingan balok yaitu perbandingan antara bentang geser (a_v) dan tinggi efektif (d) balok. Keruntuhan yang terjadi pada balok ditandai dengan munculnya retakan pada balok. Nawy (1998) mengkategorikan ragam keruntuhan menjadi tiga yaitu keruntuhan lentur, keruntuhan tarik diagonal dan keruntuhan tekan akibat geser.

2.7.1 Keruntuhan Lentur (*Flexural Failure*)

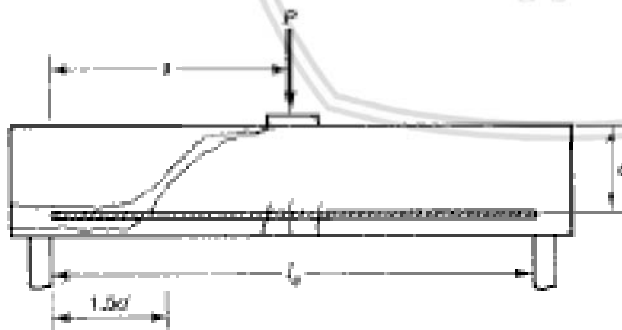
Keruntuhan lentur terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang. Beberapa retak halus berarah vertikal terjadi didaerah tengah bentang. Retak-retak ini diakibatkan oleh tegangan geser (v) yang sangat kecil dan tegangan lentur (f) yang sangat dominan yang besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal ($f_t maks$) (Nawy, 1998). Apabila beban bertambah terus, maka retak-retak pada tengah bentang akan bertambah, dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin melebar dan semakin panjang menuju garis/sumbu netral. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang. Apabila balok tersebut *underreinforced*, maka keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan daktail yang ditandai terlebih dahulu dengan lelehnya tulangan tarik.



Gambar 2.8 Pola Retak Keruntuhan Lentur

2.7.2 Keruntuhan Tarik Diagonal (*Diagonal Tension Failure*)

Keruntuhan diawali dengan mulai terjadinya retak-retak di tengah bentang, berarah vertikal yang berupa retak halus yang diakibatkan oleh lentur. Kemudian diikuti dengan rusaknya lekatan antara tulangan dengan beton sekitarnya pada perletakan. Menurut Nawy (1998) keruntuhan ini terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatan lenturnya. Tanpa peringatan sebelum runtuh, dua atau tiga retak diagonal terjadi pada jarak sekitar $1,5d$ sampai $2d$ dari muka perletakan. Retak diagonal akan melebar ke dalam retak tarik diagonal utama untuk mencapai kestabilannya. Sedangkan, retak lentur tidak menjalar ke garis/sumbu netral, pada kegagalan getas (*brittle*) ini lendutan yang terjadi kecil. Balok yang mengalami keruntuhan tarik diagonal, mempunyai perbandingan antara bentang geser (a), dengan tinggi penampang (d) sebesar $2,5 - 5,5$ untuk beban perpusat.

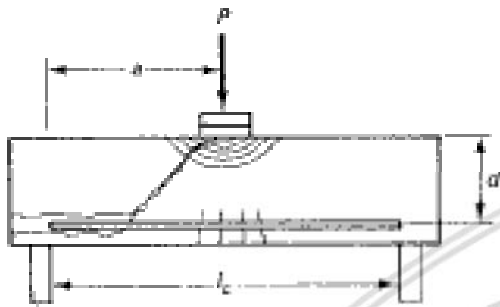


Gambar 2.9 Pola Retak Keruntuhan Tarik Diagonal

2.7.3 Keruntuhan Geser Tekan (*Shear Compression Failure*)

Keruntuhan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur yang halus berarah vertikal pada tengah bentang, tetapi tidak menjalar karena terjadinya kehilangan lekatan antara tulangan longitudinal dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan. Hal tersebut

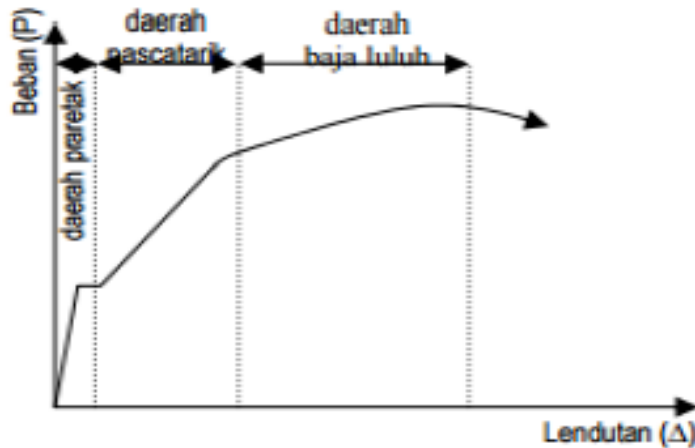
diikuti dengan retak miring yang lebih curam daripada retak diagonal tarik secara tiba-tiba.. Kecepatan menjalar semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi yang tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas. Ragam keruntuhan ini bersifat getas, namun demikian keruntuhan getas ini harus dihindari karena sifatnya yang tidak memberi peringatan terlebih dahulu.



Gambar 2.10 Pola Retak Keruntuhan Geser Tekan

2.8 Lendutan pada Balok Beton Bertulang

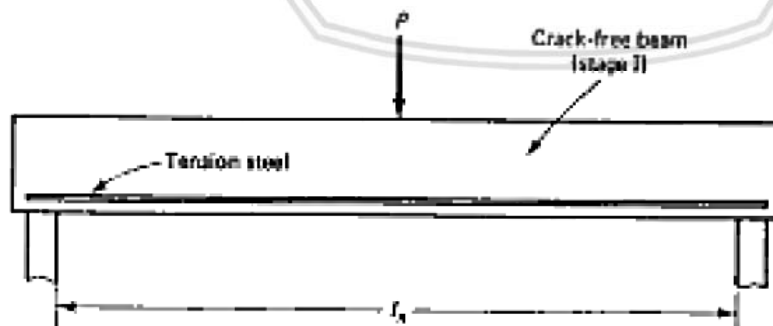
Komponen struktur harus memenuhi kemampuan kelayanan (*serviceability*) pada tingkat beban kerja atau mampu menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik. Kemampuan kelayanan batas hanya dalam strata beban kerja, tidak pada kuat batas dan ditentukan oleh lendutan, retak, korosi tulangan dan rusaknya permukaan balok. Lendutan merupakan deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang bekerja pada suatu balok. Dalam mengevaluasi apakah balok masih cukup baik untuk digunakan, perencana harus melakukan evaluasi lendutan dan perilaku retak pada balok. Menurut Nawy (1998), hubungan beban-defleksi balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinier seperti pada gambar :



Gambar 2.11 Hubungan Beban dengan Lendutan Balok Beton Bertulang

Hubungan beban-defleksi pada balok terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture*, yaitu:

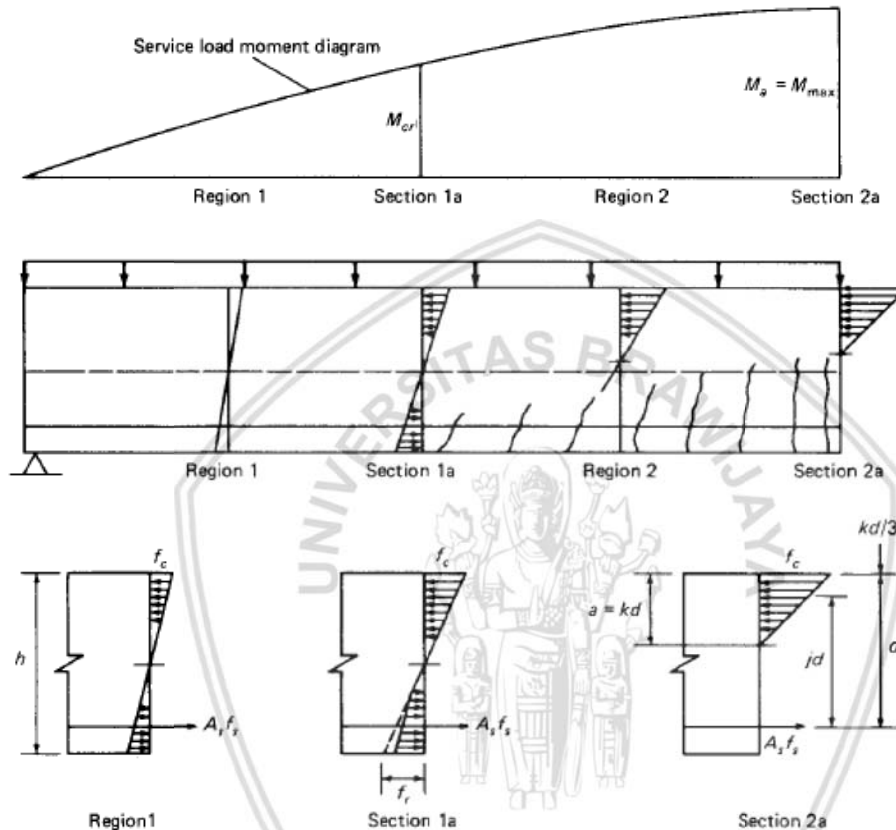
1. Daerah I : Tahap praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Pada segmen ini kurva beban-defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil daripada kekuatannya akibat lentur, atau lebih kecil dari modulus *rupture* (f_r) beton. Kekakuan lentur EI dari balok dapat diestimasi dengan Modulus Young (E_c) dari beton dan momen inersia penampang beton bertulang tak retak. Daerah praretak berhenti ketika tegangan beton mencapai kekuatan modulus *rupture*-nya yang diperlihatkan dengan munculnya retak lentur pertama pada balok bertulang.



Gambar 2.12 Tahap Praretak

2. Daerah II : Tahap pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Semakin

besar retaknya, akan semakin berkurang kekakuannya hingga mencapai suatu harga yang berupa *lower-bound* (batas bawah) sehubungan dengan momen inersia penampang retak. Gambar 2.11. Section 2a menunjukkan distribusi tegangan pada saat terjadinya retak pada balok beton.



Gambar 2.13 Variasi Distribusi Tegangan dan Retak pada Balok Beton Bertulang

3. Daerah III : Tahap Retak *Post Serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Persamaan umum defleksi maksimum Δ_{maks} pada balok elastis dapat diperoleh dengan cara prinsip dasar mekanika, yaitu :

$$\Delta_{max} = K \frac{W.ln^3}{48EIc} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dengan :

W = Beban total bentang

ln = Panjang bentang bersih

E = Modulus beton

Ic = Momen inersia penampang

K = Suatu faktor yang bergantung pada derajat kekakuan tumpuan

Harga defleksi elastis maksimum pada setiap bentuk sistem struktur berbeda tergantung kondisi tumpuan dan jenis pembebanannya. Berikut ini adalah persamaan defleksi maksimum dengan beban terpusat di tengahnya.

$$\Delta_{maks} = \frac{P.l^3}{48.EI} \dots \dots \dots (2-3)$$

dengan:

Δ = Defleksi

P = Besar beban terpusat

l = Panjang bentang bersih

E = Modulus elastisitas

I = Momen inersia penampang

Adapun menurut SNI 2002, lendutan harus diperhitungkan dan dibatasi sehingga mempunyai kekuatan yang cukup seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6

Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$l^3 / 180$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$l / 360$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat pembebanan beban hidup) ^c	$l^3 / 480$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		$l^3 / 240$
a. Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase. b. Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan. c. Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5(2(5)) atau 11.5(4(2)), tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau. d. Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktural. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.		

2.9 Tegangan Regangan

Tegangan adalah perbandingan antara gaya tarik atau tekan yang bekerja terhadap luas penampang benda. sedangkan regangan adalah perubahan bentuk dan ukuran pada sebuah benda apabila diberikan dua buah gaya yang berlawanan arah (menjauhi pusat benda) yang dikenakan pada masing-masing ujung ujung benda tersebut. Perbandingan antara pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula.

Rumus Tegangan adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan :

σ = Tegangan

P = Gaya tekan atau tarik

A = Luas penampang

Rumus Regangan adalah sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2-5)$$

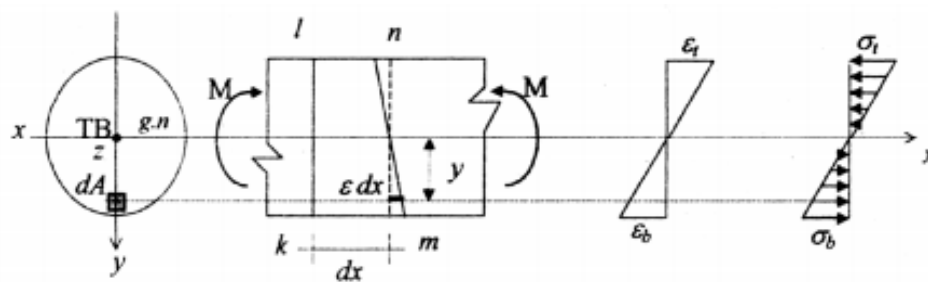
dengan:

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang benda

L_0 = Panjang mula-mula

Pada sebuah balok beton akibat terjadinya lentur penampang akan berputar, serat bagian atas memendek sedangkan bagian bawah memanjang. Pada bagian yang memendek terjadi regangan (tegangan tekan), pada bagian yang memanjang terjadi regangan (tegangan tarik). Diantara keduanya terdapat bagian yang netral, dimana tidak terjadi regangan tarik maupun tekan. Kedudukan titik titik yang regangannya nol dinamakan garis netral. Berikut adalah penjelasan gambar distribusi tegangan regangan akibat beban lentur :



(a) penampang (b) deformasi (c) distribusi regangan dan tegangan

Gambar 2.14 Hubungan Distribusi Tegangan Regangan

Pada keadaan batas, tegangan tekan beton tidak sebanding dengan regangannya, dimana tegangan tekan maksimum sebagai kekuatan tekan lentur beton tidak terjadi pada serat tepi. Regangan yang terjadi pada beton sama dengan regangan yang terjadi dalam baja tulangan, dikarenakan adanya ikatan antara beton dan tulangan sampai titik hancur. Berikut diagram tegangan-regangan beton sesuai pada grafik dan regangan maksimum yang terjadi dalam beton.

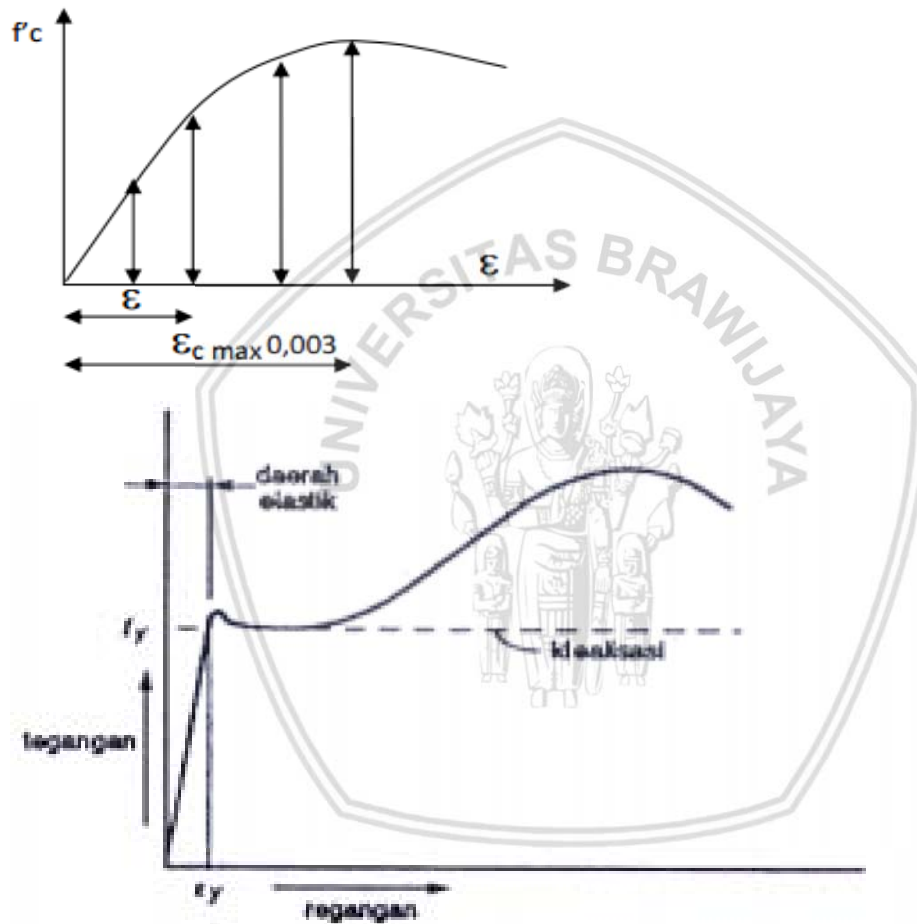


Diagram Tegangan versus Regangan Batang Tulangan Baja

Gambar 2.15 Diagram Tegangan-Regangan Beton

2.10 Rasio Tulangan

Rasio Tulangan adalah perbandingan antara luas tulangan tarik dengan luas efektif yang ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2-6)$$

dengan:

ρ = Rasio tulangan

A_s = Luas tulangan tarik

b = Lebar penampang balok beton

d = Tinggi penampang balok beton

2.11 Hasil Penelitian Terdahulu

1. Pathurahman Jauhar Fajrin dan Dwi Anggraini Kusuma (2003), meneliti tentang “Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton”. Pada penelitian ini bambu digunakan sebagai tulangan balok beton, balok diprencanakan bertulangan liat (*underreinforced*) dan tidak bertulangan tekan, semua balok di beri tulangan bambu pilinan dari bambu galah dengan diameter 12 mm dan diberi lapisan keap air. Benda uji dibuat sebanyak 5 buah dengan ukuran 15 x 20 x 200 cm. pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *four point load*, dengan perletakan sendi dan rol.

Hasil Penelitian :

- Runtuh lentur ditandai oleh retak retak tegak lurus dan meningkat jumlahnya di daerah tulangan tarik pada tengah bentang. Secara umum retak terjadi pada saat beban mencapai diatas 90% dari beban teoritis atau sekitar 78% dari beban runtuh.
- Retak awal biasanya terjadi pada daerah pembebanan dipsekitar tumpuan rol, kemudian retak terjadi didaerah tengah bentang selanjutnya di daerah sekitar sendi, atau sebaliknya.
- Eksperimen menunjukkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan balok beton, khususnya untuk struktur sederhana.

2. Ronny Setiawan, Sri Murni Dewi, dan Eva Arifi (2016) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Rasio Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Dengan Kait”. Pada penelitian ini variasi rasio tulangan yang digunakan adalah 0,8% dan 1,6% dengan menggunakan balok berdimensi 18 cm x 28 cm x 160 cm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kapasitas

beban maksimum yang didapatkan dari pengujian lentur balok bertulangan bambu dengan kait mengalami peningkatan yang diakibatkan oleh rasio tulangan 1,6%.

2.12 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut.

1. Rasio Tulangan berpengaruh terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu pilin.
2. Tulangan bambu pilin dengan rasio 0,78% memiliki kuat lentur yang lebih rendah dibandingkan dengan tulangan bambu pilin dengan rasio 1,05%.





BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian yang dilakukan adalah pada semester ganjil tahun ajaran 2017-2018.

3.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas adalah variabel yang perubahannya bebas dilakukan peneliti.
Diantaranya : Tulangan Bambu Pilin dengan dimensi (4 x 4 mm) untuk rasio 0,78% dan (5 x 5 mm) untuk rasio 1,05%, Tulangan Baja dengan diameter $\varnothing 8$ mm untuk rasio 0,78% dan $\varnothing 10$ mm untuk rasio 1,05%.
2. Variabel Terikat adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas.
Diantaranya : Kuat Lentur dan Pola Retak

Tabel 3.1

Variabel dalam Penelitian

Pengujian	Pengujian Lentur pada Balok
Variabel Bebas	Tulangan Bambu Pilin dengan dimensi (4 x 4 mm) untuk rasio 0,78% dan (5 x 5 mm) untuk rasio 1,05%, Tulangan Baja dengan diameter $\varnothing 8$ mm untuk rasio 0,78% dan $\varnothing 10$ mm untuk rasio 1,05%.
Variabel Terikat	Kuat Lentur dan pola retak.

3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.3.1 Peralatan Penelitian

Alat yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Timbangan dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 100 gr dan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr.

2. Satu set ayakan untuk analisa agregat.
3. Penggaris, mistar pengukur.
4. Mesin pencampur beton.
5. Bekisting balok beton bertulang dengan ukuran yang telah ditentukan.
6. Satu set alat pengujian *slump* beton.
7. Mesin Uji Tekan.
8. *Hydraulic Jack* (dongkrak hidrolik).
9. *Load Cell*, pemberian beban secara bertahap.
10. *Loading Frame* atau rangka penguji untuk menempatkan benda uji pada saat pengujian.

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen *Portland Pozzolan Cement* (PPC).
2. Agregat Kasar (Kerikil).
3. Agregat Halus (Pasir).
4. *Additon*.
5. Air PDAM kota Malang.
6. Tulangan Pilin Bambu Petung.
7. Sikadur 31.
8. NaOH 1%.

3.4 Analisa Bahan

3.4.1 Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah *Portland Pozzolan Cement* (PPC) tipe I dan tidak dilakukan perlakuan khusus. Apabila semua semen tidak dalam keadaan menggumpal atau mengeras maka semen tersebut dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan.

3.4.2 Air

Air yang digunakan berasal dari air bersih PDAM kota Malang dan tidak dilakukan perlakuan pengujian khusus.

3.4.3 Agregat

Dalam penelitian ini agregat dilakukan beberapa pengujian, yaitu analisa ayakan, berat jenis, berat isi, kadar air dan penyerapan berdasarkan standar ASTM C33. Agregat diusahakan dalam keadaan mendekati keadaan sebenarnya di lapangan dan dalam keadaan *Saturated Surface Dry* (SSD). Sehingga agregat perlu dijaga dari kotoran organik, lumpur dan sampah yang dapat merusak kualitas beton.

3.4.4 Beton

Mutu beton yang digunakan sebesar $f'c = 20$ Mpa dengan angka *Slump* 12 ± 2 .

3.4.5 Tulangan

Tulangan utama pada penelitian ini menggunakan bambu petung sebagai tulangan beton yang berasal dari kota Malang untuk balok uji, sedangkan untuk balok uji digunakan tulangan baja. Sebelum bambu digunakan, tulangan bambu terlebih dahulu di pilin, di beri pelapis dan pasir. Tulangan bambu tidak dilakukan pengujian khusus.

3.4.6 Sikadur

Sikadur digunakan sebagai pelapis pada tulangan bambu sebelum dilakukan pengecoran. Jenis sikadur yang digunakan adalah *Sikadur 31*, yaitu untuk material beton, dan kayu.

3.4.7 Additon

Additon digunakan sebagai katalis untuk mempercepat pengerasan beton saat proses pengecoran.

3.5 Rancangan Penelitian

Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian lentur dan pengujian kuat tekan. Pengujian lentur menggunakan balok bertulangan bambu dengan ukuran 18 cm x 25 cm x 160 cm, dengan variasi sampel sebagai berikut.

- Faktor A = Jenis Tulangan
- Faktor B = Ukuran Tulangan

Pengujian Lentur dilakukan dengan memberikan dua beban terpusat simetris pada bentang. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai lendutan dan beban maksimum

benda uji balok. Sedangkan pengujian tekan dilakukan dengan memberikan beban vertikal pada benda uji silinder untuk mengetahui mutu beton pada benda uji balok.

3.5.1 Rancangan Benda Uji Tekan

Benda uji tekan direncanakan dengan menggunakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji tekan yang akan dilakukan pada penelitian adalah beton dengan mutu 20 Mpa. Benda uji tekan dibutuhkan untuk mengetahui kesesuaian mutu beton dalam perencanaan.

3.5.2 Rancangan Benda Uji Kuat Lentur

Tabel 3.2

Faktor Benda Uji Kuat Lentur

Faktor	Taraf/Level	Keterangan
A (Jenis Tulangan)	A ₀	Tulangan Baja
	A ₁	Tulangan Bambu Pilin
B (Ukuran Tulangan)	a ₁	Rasio 0,78%
	b ₁	Rasio 1,05%

Tabel 3.3

Variasi Benda Uji Kuat Lentur

	A ₀	A ₁
a ₁	A ₀ a ₁	A ₁ a ₁
b ₁	A ₀ b ₁	A ₁ b ₁

Hasil pengujian kuat lentur dari benda uji yang telah diuji akan dicatat pada form pengujian kuat lentur seperti yang tertera pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4

Form Pengujian Kuat Lentur

Benda Uji; $A_0 a_1$		
Beban (kg)	Defleksi (mm)	
	1	2

Benda Uji; $A_0 b_1$		
Beban (kg)	Defleksi (mm)	
	1	2

Benda Uji; $A_1 a_1$		
Beban (kg)	Defleksi (mm)	
	1	2

Benda Uji; $A_1 b_1$		
Beban (kg)	Defleksi (mm)	
	1	2

3.6 Prosedur Penelitian**3.6.1 Pembuatan Tulangan Pilinan Bambu**

Langkah langkah pembuatan tulangan bambu :

1. Pemotongan bambu petung berbentuk persegi dengan ukuran $0,4 \times 0,4 \times 154$ cm sebanyak 3 batang untuk satu buah tulangan dan $0,5 \times 0,5 \times 154$ cm sebanyak 3 batang untuk satu buah tulangan. Pengukuran dimensi bambu menggunakan jangka sorong dan untuk pengukuran panjang bambu menggunakan *roll meter*.
2. Tulangan direndam dengan NAOH selama kurang lebih 15 menit lalu di keringkan.
3. Setelah kering bambu di pilin sesuai dengan tipe pilinan yang di tentukan.

4. Pemasangan kawat bendrat pada ujung pilinan bambu yang berfungsi sebagai pengikat.
5. Melakukan pelapisan menggunakan sikadur kemudian pasir pada tulangan bambu.
6. Mengeringkan tulangan bambu yang telah diberi pelapis.

3.6.2 Pembuatan Tulangan Baja

Tulangan baja yang disiapkan adalah tulangan baja polos berukuran $\varnothing 8$ dan $\varnothing 10$ mm sepanjang 154 cm. Tidak dilakukan perlakuan khusus terhadap tulangan baja.

3.6.3 Pengujian Kuat Tekan Silinder

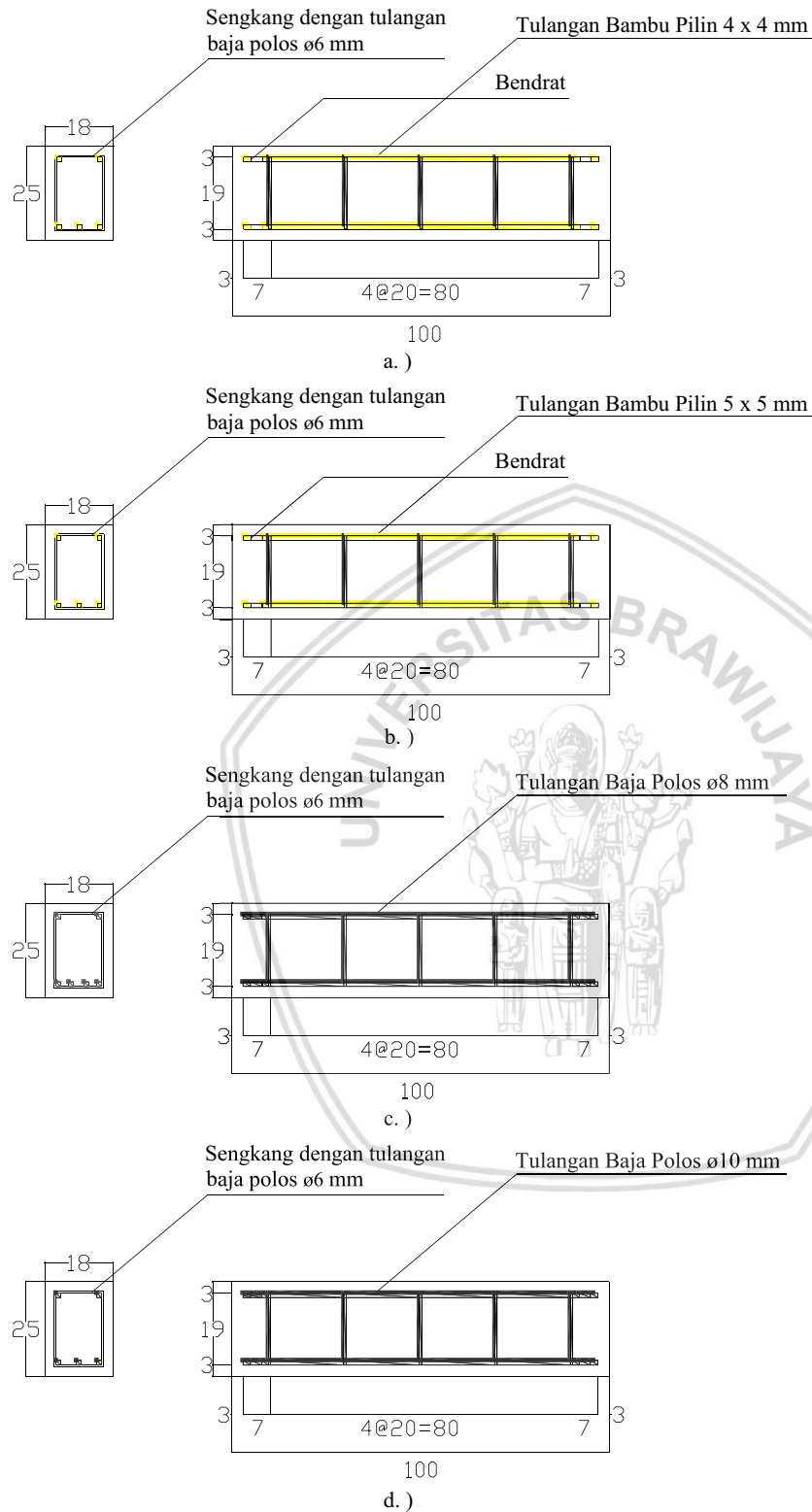
Tahapan-tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton sebagai berikut.

1. Meletakkan benda uji pada mesin secara sentris.
2. Mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban yang konstan.
3. Pembebanan dilakukan pada benda uji sampai benda uji mengalami keretakan dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

3.6.4 Pengujian Kuat Lentur Balok

Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji balok adalah :

1. Menyiapkan material dan peralatan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji balok.
2. Menyiapkan bekisting ukuran 18 x 25 x 160 cm.
3. Memasang detail tulangan seperti pada Gambar 3.1.
4. Menyampurkan bahan-bahan dengan mesin pencampur beton.
5. Menuangkan campuran beton pada bekisting yang telah disiapkan.



Gambar 3.1 Variasi Benda Uji Kuat Lentur Balok Bertulang

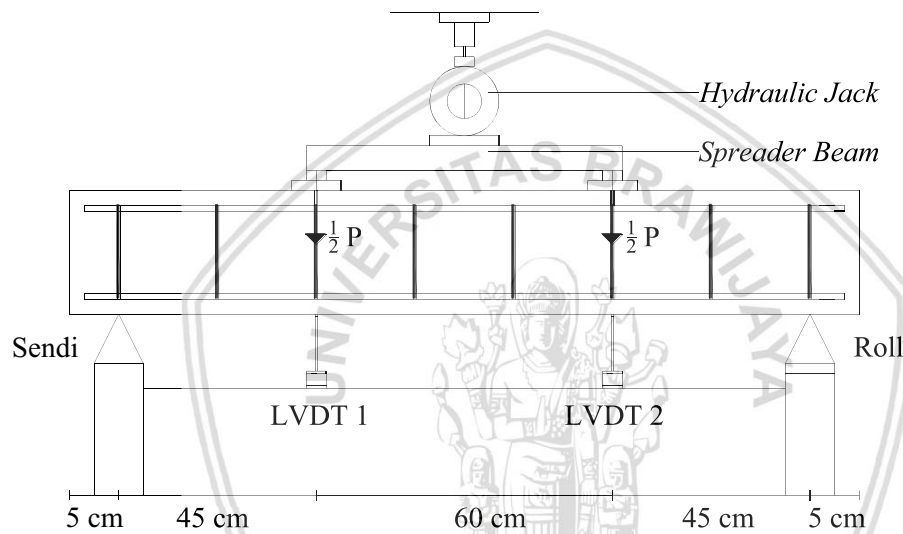
(a) Balok bertulangan bambu pilin dengan rasio tulangan 0,78%

(b) Benda bertulangan bambu pilin dengan rasio tulangan 1,05%

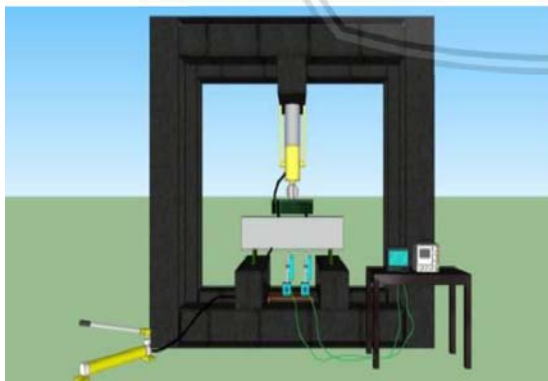
- (c) Balok bertulangan baja dengan rasio 0,78%
- (d) Balok bertulangan baja dengan rasio 1,05%

Tahapan dalam pengujian kuat lentur adalah :

Pengujian benda uji kuat lentur dilakukan saat balok beton berumur 10 hari. Balok diletakkan pada alat uji di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang. Diberikan tumpuan Sendi-Rol pada ujung balok. Berikan peban terpusat pada tengah bentang balok. Setelah itu diamati pola retak yang terjadi.



Gambar 3.2 Skema Pembebanan dan Pengujian Balok



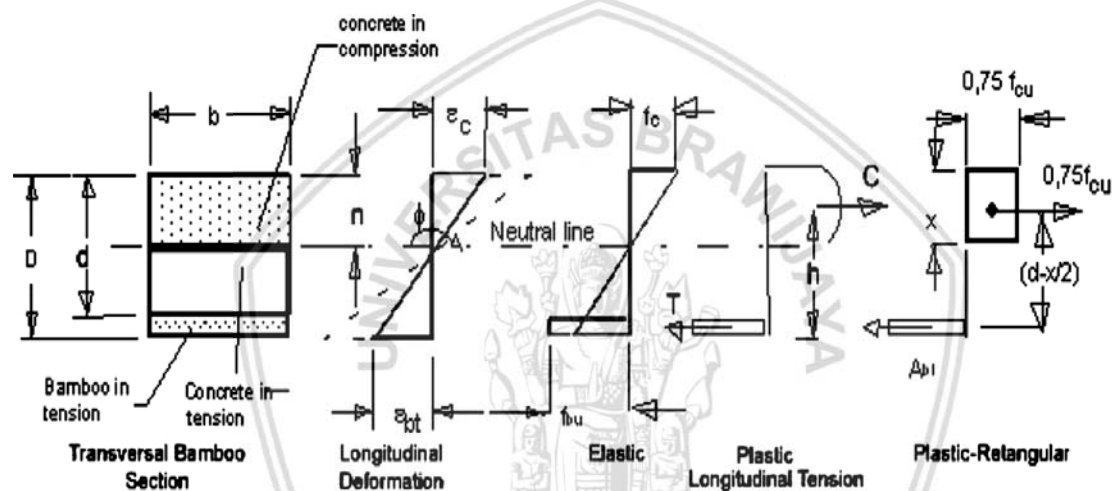
Gambar 3.3 Setting Alat Pengujian Balok

3.7 Rancangan Analisis Data

3.7.1 P Teoritis

Nilai P maksimum teoritis digunakan untuk mengetahui besarnya beban maksimum teoritis yang mampu ditahan oleh balok. Analisis ini harus memenuhi prinsip keseimbangan antara gaya tekan beton (C) dengan gaya tarik tulangan bambu (T). Gaya tarik tulangan bambu (T) didapat dari hasil perkalian tegangan lekat dengan luas geser tulangan bambu.

Perhitungan P maksimum teoritis untuk benda uji balok :



Gambar 3.4 Definisi dari Distribusi Tegangan Balok Persegi Bertulangan Bambu
(Gharvani:2005)

Persamaan keseimbangan gaya :

Gaya Tarik = Gaya Tekan

$T = C_c$

$A_s \text{ geser} \times \mu = 0,85 \times f'_c \times b \times a$

$$a = \frac{A_{s \text{ geser}} \times \mu}{0,85 \times f'_c \times b} \dots \dots \dots (3-1)$$

Dengan :

μ : Tegangan lekat tulangan bambu (N/mm^2)

f'_c : Tegangan tekan hancur beton (N/mm^2)

b : Lebar penampang balok beton (mm)

a : Kedalaman blok tekan prsegi ekivalen (mm)

Letak garis netral, $c = \frac{a}{\beta_1}$ (3-2)

Dengan :

$$\beta_1 = \begin{cases} 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ Mpa} \\ \left\{ 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \right) (f'c - 30) \right\} \geq 0,65 \text{ untuk } f'c > 30 \text{ Mpa} \end{cases}$$

Keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik. Sehingga momen nominal dan momen ultimate sebagai berikut.

Momen Nominal, $M_n = T \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$ (3-3)

Momen Ultimate, $M_u = \phi \times M_n$ (3-4)

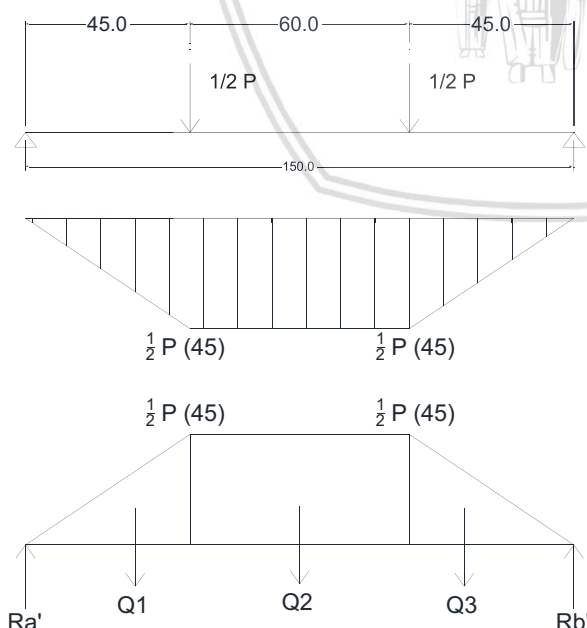
Momen Teoritis 2 beban terpusat :

$\frac{1}{2} \times P \times L$ (3-5)

Dimana jarak L adalah 45 cm dari tumpuan ke titik beban pertama seperti pada Gambar 3.2.

3.7.2 Lendutan teoritis

Salah satu etode yang digunakan dalam menganalisa lendutan secara teoritis adalah metode *Conjugate Beam*. Metode ini merupakan salah satu metode untuk menghitung besarnya rotasi dan lendutan pada balok dan portal.



Gambar 3.5 *Conjugate beam* pada Balok Beton

Beban P yang digunakan merupakan beban saat keadaan elastis. Berikut adalah contoh perhitungan menggunakan *conjugate beam* :

$$P = 2000 \text{ kg}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

$$b = 18 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

Momen sebenarnya :

$$\begin{aligned} M_s &= \frac{1}{2} P (L) \\ &= \frac{1}{2} (2000) (45) \\ &= 45000 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Beban conjugate :

$$Q_1 = \frac{1}{2} (45) \{M_s\} = \frac{1}{2} (45) \{45000\} = 1012500 \text{ kgcm}^2$$

$$Q_2 = 60 \{M_s\} = 60 \{45000\} = 2700000 \text{ kgcm}^2$$

$$Q_3 = \frac{1}{2} (45) \{M_s\} = \frac{1}{2} (45) \{45000\} = 1012500 \text{ kgcm}^2$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1012500 + 2700000 + 1012500 = 4725000 \text{ kgcm}^2$$

$$\begin{aligned} R_{a'} &= R_{b'} \\ &= \frac{1}{2} Q = \frac{1}{2} (4725000) = 2362500 \text{ kgcm}^2 \end{aligned}$$

Nilai lendutan teoritis:

$$\Delta_E = \frac{M_E'}{EI} \dots\dots\dots (3-6)$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } M_E' &= R_{a'} (45) - Q_1 \left(\frac{1}{3} \cdot 45\right) \\ &= 2362500 (75) - 1012500 \left(\frac{1}{3} \cdot 45\right) \\ &= 15187500 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3-7)$$

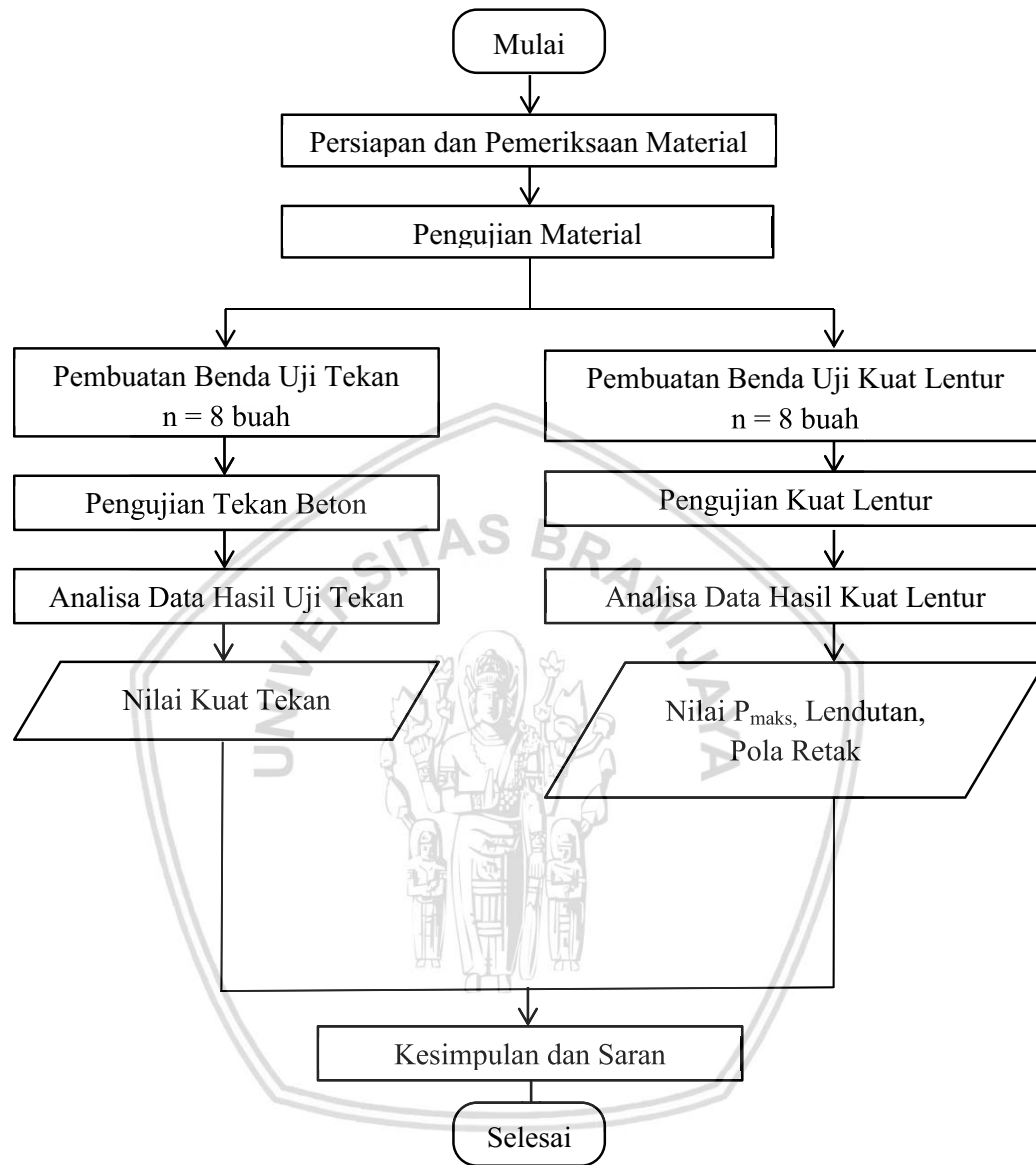
$$\begin{aligned} E_{\text{beton}} &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \sqrt{20} \\ &= 21019,039 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$I = \frac{1}{12} b \times h^3 \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 18 \times 25^3 \\ &= 23437,5 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\Delta_E = \frac{M_E'}{EI} = \frac{15187500}{21019,039 \times 23437,5} = 0,031 \text{ cm}$$

3.8 Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alir Tahapan Penelitian

BAB IV

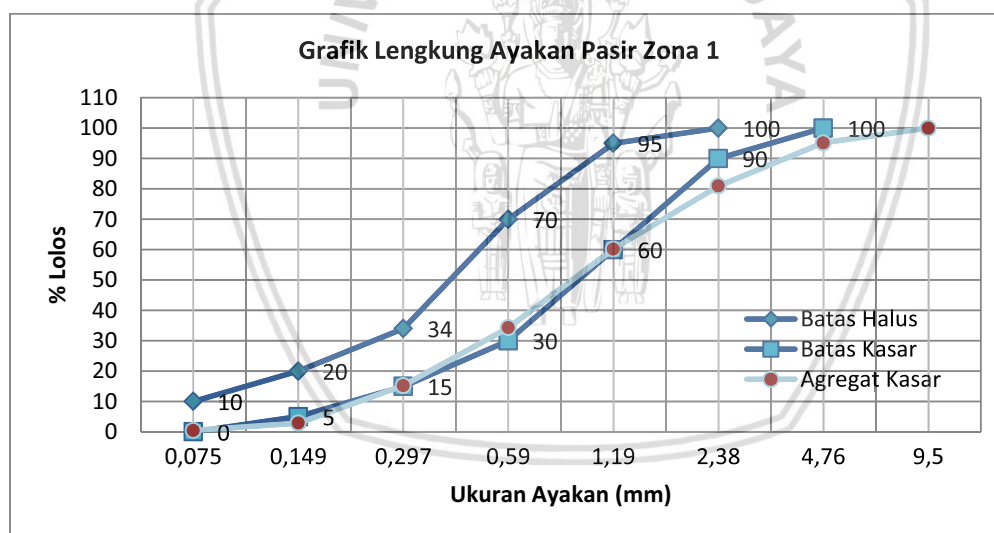
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bahan

Pengujian bahan pada penelitian ini antara lain analisis agregat halus dan kasar. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan data *Mix Design* pada perencanaan campuran beton.

4.1.1 Analisis Agregat Halus dan Kasar

Analisis agregat halus dan kasar dilakukan dengan pemeriksaan gradasi agregat yang bertujuan untuk mendapatkan nilai modulus kehalusan, berat jenis jenuh kering, kadar air, berat isi, dan penyerapan air agregat. Nilai yang didapatkan dari analisis agregat ini akan digunakan untuk menentukan kuat tekan beton. Hasil analisis agregat halus ditampilkan pada Gambar 4.1.



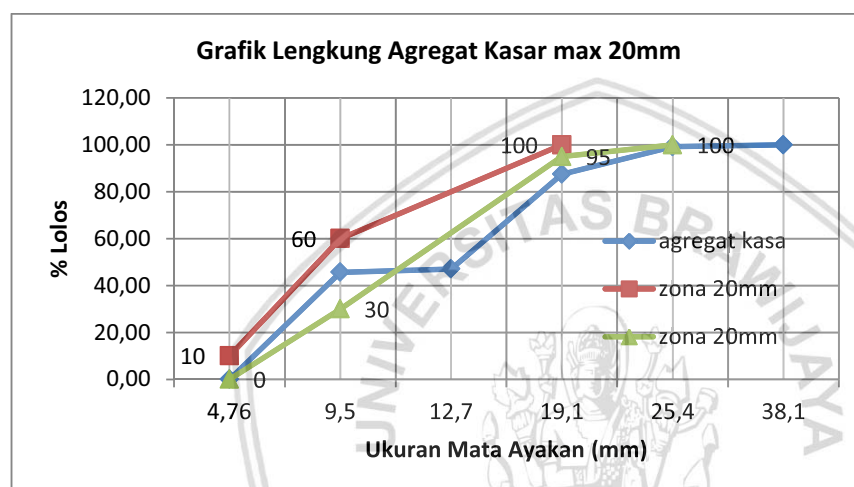
Gambar 4.1 Grafik Lengkung Agregat Halus

Berdasarkan hasil analisis pada grafik lengkung agregat pasir menunjukkan bahwa gradasi agregat halus masuk pada zona 1. Penentuan jenis pasir berdasarkan data dan batas zona sesuai dengan grafik batas zona pada SNI. Hasil gradasi pasir pada analisis ini masuk pada zona 1 yang merupakan pasir berbutir kasar. Pasir berbutir kasar mempengaruhi adukan campuran beton yang menyebabkan ikatan antar campuran berkurang, sehingga sebelum pengecoran agregat kasar harus disaring terlebih dahulu.

Tabel 4.1

Hasil Analisis Agregat Kasar (Kerikil)

Keterangan	Notasi	Satuan	Nilai
Modulus Halus	f_m	-	9,21
Penyerapan Air	Abs	%	1,99
Berat Jenis SSD	S_g	-	2,494672889
Kadar Air	W	%	1,71



Gambar 4.2 Grafik Lengkung Agregat Kasar

Berdasarkan analisis pada grafik lengkung agregat kasar menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan masuk kedalam zona 2 dengan agregat kasar maksimum 20 mm. Penentuan jenis kerikil berdasarkan data dan batas zona sesuai dengan grafik batas zona pada SNI beton. Gradasi agregat kasar mempengaruhi dalam menentukan kadar air adukan beton.

4.1.2 Perencanaan Campuran Beton Normal

Perencanaan mutu beton pada benda uji yang akan digunakan adalah sebesar $f'_c = 20$ MPa. Agregat Halus yang akan digunakan adalah pasir dengan diameter maksimum 20 mm. Agregat Kasar yang digunakan adalah batu pecah alami. Semen yang digunakan adalah semen PPC tipe 1. Berikut adalah tabel perhitungan perencanaan campuran beton atau *Mix Design* benda uji yang akan digunakan.

Tabel 4.2

Perencanaan Campuran Beton Normal dengan $f'_c = 20 \text{ Mpa}$

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	20 Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-
3	Nilai Tambah (Margin)	$(K=1,64) 1,64*(2)$	12 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	$(1) + (3)$	32 Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0.54
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0.6
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	225
12	Jumlah semen	$(11) : (8)$	416.667
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 – 6	Zona 2
17	Persen agregat halus	Grafik 13 – 15	45%
18	Berat isi relatif agregat (SSD)	Diketahui	2.581747508
19	Berat isi beton	Grafik 16	2310
20	Kadar agregat gabungan	$(19) - (11) - (12)$	1668.333
21	Kadar agregat halus	$(17) * (20)$	750.750
22	Kadar agregat kasar	$(20) - (21)$	917.583

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/lt)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	416,67	225	750,750	917,583
Tiap campuran uji 0,072m3	26,52	14,32	47,78	58,40
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	416,67	216,77	761,555	915,003
Tiap campuran uji 0,072 m3	30,00	15,61	54,83	65,88
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0,5	1,8	2,2
Proporsi (Aktual)	1	0,5	1,83	2,20

Berdasarkan Tabel 4.2 didapatkan rencana penggunaan campuran beton untuk 1 benda uji balok dan silinder yaitu: Pasir 76,76 kg, kerikil 92,23 kg, semen 42,00 kg, dan air 21,85 kg/m³ dengan faktor dikalikan 1,4 dari hasil tabel 0.72 m³.

4.2 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian kali ini meliputi pembuatan tulangan bambu mm dan juga tulangan baja, kemudian memilin tulangan bambu dan mengikat kedua ujungnya dengan menggunakan kawat bendrat. Setelah semua tulangan siap digunakan, dilakukan perangkaian tulangan dengan sengkang, pemasangan beton decking, dan pemasangan pada bekisting balok. Setelah itu dilakukan pengecoran dengan campuran sesuai dengan *mix design* yang dilanjutkan dengan perawatan (*curing*) pada benda uji.

4.2.1 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji meliputi:

1. Tahap awal pembuatan benda uji adalah dengan memotong tulangan bambu dan baja. Tulangan bambu yang dipotong memiliki dua jenis ukuran yaitu ukuran 4 x 4 mm dan 5 x 5 mm. Sedangkan tulangan baja yang dipotong memiliki ukuran Ø8 mm dan Ø10 mm.
2. Tulangan bambu yang telah dipotong sesuai ukuran direndam dengan NaOH kadar 1% selama 15 sampai 20 menit. Perendaman tersebut bertujuan untuk menghilangkan serbuk pada permukaan bambu. Setelah bambu direndam, bambu dikeringkan.
3. Bambu yang sudah kering dipilin dengan panjang 160 cm dengan pola 1 sesuai hasil uji terbaik berdasarkan penelitian ‘uji tarik dan pengaruh variasi pola pilinan terhadap

kuat lekat balok beton'. ujung tulangan bambu yang telah dipilin diikat dengan menggunakan kawat bendrat.



Gambar 4.3 Pola Pilinan 1 Buah Tulangan Bambu Pilin

Sumber : Chamidah (2016)

4. Selanjutnya tulangan bambu yang telah dipilin dilapisi dengan dua kali pelapisan, yaitu lapisan pertama berupa cat, dan lapisan kedua berupa sikadur dan pasir. Pelapisan menggunakan cat digunakan sebagai pengawetan tulangan untuk mencegah masuknya air ke dalam tulangan, sedangkan pelapisan menggunakan sikadur dan pasir digunakan sebagai peningkatan kuat lekat antara tulangan bambu pilin dengan campuran beton.
5. Setelah tulangan bambu pilin dan tulangan baja siap, akan dilakukan *setting* tulangan, yaitu perangkaian sengkang pada tulangan dengan jarak 200 mm.



Gambar 4.4 Rangkaian Tulangan Baja dengan Sengkang



Gambar 4.5 Rangkaian Tulangan Bambu Pilin dengan Sengkang

6. Tulangan yang telah dirangkai kemudian dimasukkan kedalam bekisting dan diberikan beton decking sebagai selimut beton dengan tebal 30 mm. Bekisting yang telah siap untuk dilakukan pengecoran berjumlah 8 balok dan 8 silinder.
7. Campuran beton terlebih dahulu ditimbang sesuai *mix design* kemudian dimasukkan kedalam Molen. Selanjutnya dilakukan pengecoran dan pemadatan menggunakan vibrator.
8. Sebelum dimasukkan kedalam bekisting, terlebih dahulu dilakukan uji Slump. Uji *slump* berfungsi untuk memeriksa kelayakan beton.



Gambar 4.1 Pengujian Slump.

9. Beton yang telah dilakukan uji *slump* dicor kedalam bekisting dan cetakan silinder serta dilakukan pemadatan menggunakan vibrator.

4.2.2 Perawatan Benda Uji

Benda uji yang telah berumur 1 hari setelah pengecoran kemudian dilakukan curing. *Curing* benda uji silinder dilakukan dengan cara dikeluarkan dari cetakan silinder dan direndam dalam air, sedangkan *curing* pada benda uji balok dilakukan dengan cara dikeluarkan dari bekisting lalu dilapisi dengan karung goni yang telah dibasahkan. Proses *curing* pada balok dilakukan selama 10 hari. Benda uji silinder yang akan diuji tekan terlebih dahulu dilakukan *capping* untuk meratakan permukaan yang akan diuji. *Capping* pada penelitian ini berbahan dasar belerang.



Gambar 4.7 Proses Pembuatan *Capping* dari Serbuk Belerang yang Dipanaskan.

Sumber : Chamidah (2016)



Gambar 4.8 Proses *Curing* pada Benda Uji Balok

Sumber : Chamidah (2016)

4.3 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui mutu beton pada benda uji. Pengujian kuat tekan ini dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada benda uji silinder. Pada penelitian ini benda uji silinder yang dibuat adalah sebanyak satu buah tiap balok yaitu 8 buah sebagai sampel untuk mendapatkan mutu campuran beton pada balok. Mutu beton rencana pada penelitian ini adalah 20 MPa. Benda uji silinder diuji ketika beton telah berumur 10 hari. Pada penelitian ini benda uji menggunakan katalis berupa *additon* untuk mempercepat umur beton, sehingga umur beton 10 hari sama dengan umur beton 28 hari. Dari hasil pengujian uji kuat tekan beton didapatkan rata-rata kuat tekan

beton sebesar 27,571 MPa. Nilai kuat tekan aktual lebih besar dari kuat tekan rencana sebesar 20 MPa (200 kg/cm²).

Tabel 4.3

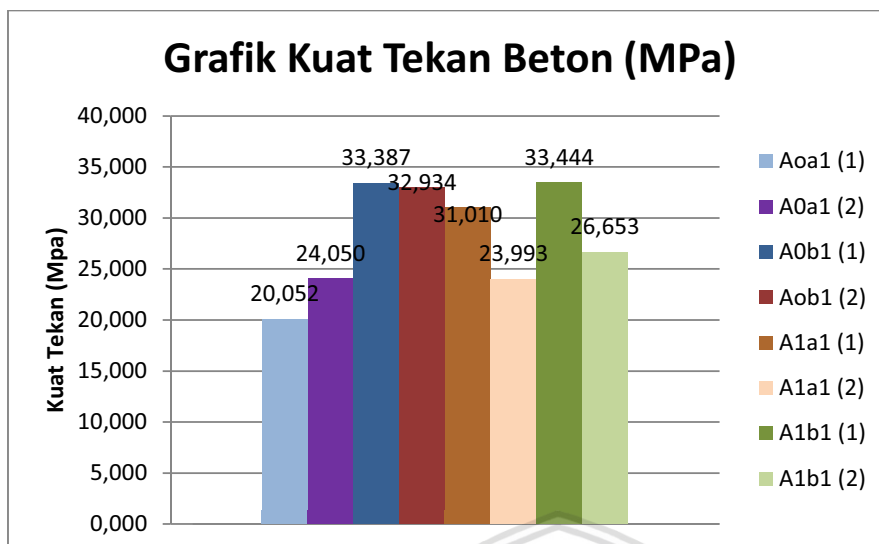
Tabel Pengujian Kuat Tekan Beton

KETERANGAN	Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Berat (kg)	Pmax (N)	Uji Kuat Tekan Beton Silinder (N/mm ²)	
					Kuat Tekan (f'c)	Kuat Tekan Rata-Rata
Baja Rasio 0,78%	A0a1 (1)	17671.459	12.9	319000	20.052	22.051
	A0a1 (2)	17671.459	12.6	425000	24.050	
Baja Rasio 1,05%	A0b1 (1)	17671.459	12.65	590000	33.387	33.161
	A0b1 (2)	17671.459	12.65	582000	32.934	
Bambu Pilin Rasio 0,78%	A1a1 (1)	17671.459	12.4	548000	31.010	27.502
	A1a1 (2)	17671.459	12.35	424000	23.993	
Bambu Pilin Rasio 1,05%	A1b1 (1)	17671.459	12.6	591000	33.444	30.048
	A1b1 (2)	17671.459	12.45	471000	26.653	
Rata-rata						28.191



Gambar 4.9 Proses Pengujian Kuat Tekan Beton





Gambar 4.10 Grafik Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa kuat tekan beton pada penelitian kali ini memiliki variasi kuat tekan yang tidak begitu signifikan, namun kuat tekan pada benda uji A_{0a1} (1) dengan A_{1b1} (1) memiliki perbedaan yang cukup besar yaitu 33,444 MPa dan 20,052 MPa. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena komposisi agregat dan semen yang tidak merata saat proses pembuatan benda uji silinder dan juga agregat yang kurang mengisi akibat kurangnya proses pemadatan saat pengecoran, sehingga terdapat rongga pada benda uji yang mengakibatkan volume beton berkurang dan kuat tekan silinder menurun. Kuat tekan beton masih memenuhi rencana yaitu sebesar 20 MPa.

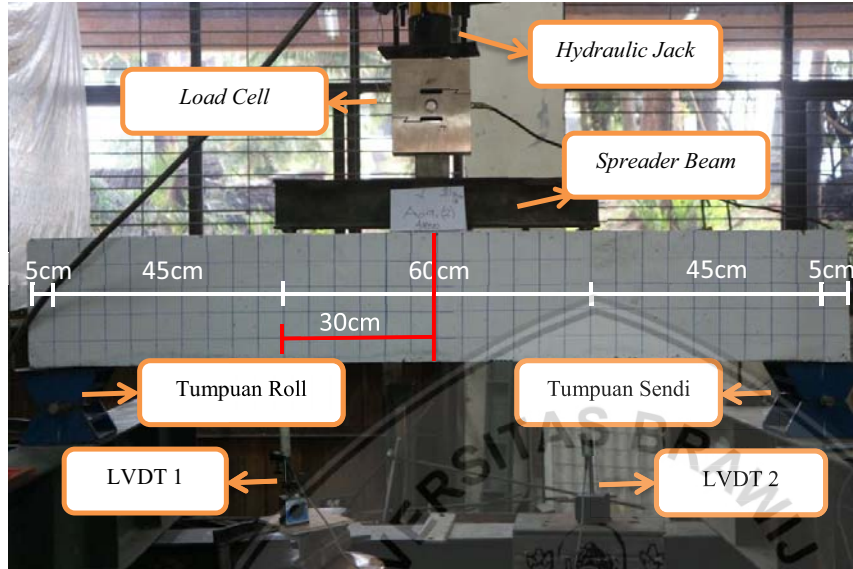
4.4 Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh peningkatan rasio tulangan terhadap kapasitas lentur balok bertulangan bambu pilin dan baja. masing masing sampel untuk rasio tulangan bambu pilin dan baja dengan rasio 0,78% dan 1,05% adalah sebanyak 2 sampel. Sehingga total balok yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah 8 buah balok beton.

4.4.1 Pemodelan Beban

Balok beton diuji sebagai balok sederhana (2 tumpuan) dengan tumpuan sendi-roll dengan perletakan masing-masing 5 cm dari sisi kanan dan kiri balok terhadap titik pusat tumpuan. Sebelum diuji balok terlebih dahulu di cat dan diberi garis grid berukuran 5 x 5 cm pada sisi yang akan diamati. Pengujian lentur balok beton dilakukan dengan

meletakkan *spreader beam* pada titik yang telah ditentukan sebagai penyebar beban dua titik dari *load cell*. Pembacaan lendutan dilihat menggunakan LVDT pada dua titik pembebanan. Pemodelan pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Skema Pembebanan Pengujian Kuat Lentur

4.4.2 Hasil Pengujian Lentur Balok Beton

Pengujian lentur balok beton dibebani menggunakan *hydraulic jack* yang disalurkan kepada *load cell* dan disebarkan menggunakan *spreader beam*. Pengujian dihentikan saat beton mengalami keruntuhan. Nilai beban maksimum (P_{max}) dan lendutan maksimum dapat dilihat melalui Tabel 4.4.

4.4.2.1 P Maksimum Benda Uji

Tabel 4.4

Beban dan Lendutan Maksimum Balok Beton

Benda Uji	Pmax (Kg)	Pmax Rata-rata (kg)	Persentase selisih Pmax (%)	Lendutan 1 (mm)	Lendutan 2 (mm)
A0a1 (1)	4900	4700	39.355	-18.39	-19.394
A0a1 (2)	4500			-18.92	-19.394
A0b1 (1)	8100	7750		-20.65	-18.767
A0b1 (2)	7400			-30.68	-30.437
A1a1 (1)	5300	4700	2.083	-20.62	-15.969
A1a1 (2)	4100			-14.36	-20.169
A1b1 (1)	4800	4800		-15.45	-13.507
A1b1 (2)	4800			-14.15	-14.871

Keterangan :

A₀a₁ : Tulangan baja dengan rasio 0,78%A₀b₁ : Tulangan baja dengan rasio 1,05%A₁a₁ : Tulangan bambu pilin dengan rasio 0,78%A₁b₁ : Tulangan bambu pilin dengan rasio 1,05%

Berdasarkan Tabel 4.4, P maksimum terbesar yang dapat ditahan oleh balok beton terdapat pada balok A₀b₁ (1) dengan nilai sebesar 8100 kg, sedangkan P maksimum terendah terdapat pada balok A₁a₁ (2) dengan nilai sebesar 4100 kg. Kapasitas beban pada balok beton dengan variasi rasio tulangan baja memiliki selisih yang signifikan sebesar 39,355% dibandingkan dengan balok beton dengan variasi rasio tulangan bambu pilin dengan selisih sebesar 2,083%.

Perbedaan yang signifikan pada kapasitas beban antara peningkatan rasio balok bertulangan baja dengan balok bertulangan bambu pilin dapat dikarenakan tulangan baja lebih bersifat homogen daripada tulangan bambu pilin. Tulangan dengan bambu pilin merupakan pilinan dari batang bambu yang berbeda-beda. Hal ini dapat mempengaruhi elastisitas tulangan dalam menahan beban. Sehingga peningkatan rasio pada balok bertulangan bambu pilin tidak memberikan respon yang sama terhadap kapasitas beban balok bertulangan baja.

4.4.2.2 Lendutan Benda Uji

Analisis Lendutan pada penelitian kali ini dilakukan dengan membandingkan lendutan yang terjadi pada saat kondisi elastis dan maksimum antara benda uji balok beton yang satu dengan yang lainnya.

Persentase pengaruh peningkatan rasio tulangan terhadap lendutan pada balok dapat dilihat pada Tabel 4.5 – 4.10 dan Gambar 4.12 - 4.13.

Tabel 4.5

Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Baja pada Beban Elastis

Perbandingan Lendutan saat P Elastis A0a1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	4100	3.72	4.664	6.025	7.952	37.344	56.652
A0a1 (2)	4100	8.33	11.24				
A0b1 (1)	4100	3.25	3.987	3.775	3.447		
A0b1 (2)	4100	4.3	2.907				
Perbandingan Lendutan saat P Elastis A0a1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	3700	3.17	4.044	3.845	4.017	17.815	28.367
A0a1 (2)	3700	4.52	3.99				
A0b1 (1)	3700	2.88	3.588	3.16	2.8775		
A0b1 (2)	3700	3.44	2.167				
Perbandingan Lendutan saat P Elastis A0b1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	5500	0	0	0	0	100.000	100.000
A0a1 (2)	5500	0	0				
A0b1 (1)	5500	4.71	5.937	6.165	5.617		
A0b1 (2)	5500	7.62	5.297				
Perbandingan Lendutan saat P Elastis A0b1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	5200	0	0	0	0	100.000	100.000
A0a1 (2)	5200	0	0				
A0b1 (1)	5200	4.33	5.515	5.015	4.721		
A0b1 (2)	5200	5.7	3.927				
Persentase Rata-rata Perbandingan Lendutan P Elastis (%)						63.790	71.255

Tabel 4.6

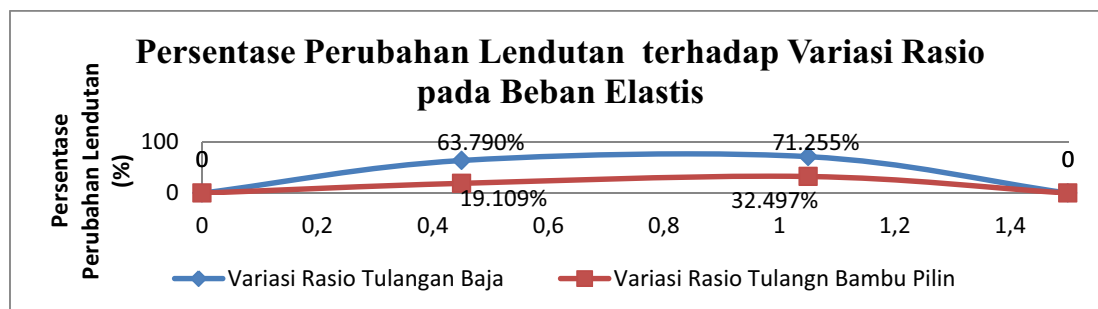
Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Bambu pada Beban Elastis

Perbandingan Lendutan saat P Elastis A1a1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	2700	2.07	2.487	1.995	2.4435	18.546	31.226
A1a1 (2)	2700	1.92	2.4				
A1b1 (1)	2700	1.72	1.237	1.625	1.6805		
A1b1 (2)	2700	1.53	2.124				
Perbandingan Lendutan saat P Elastis A1a1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	2200	1.74	2.048	1.83	2.224	19.672	33.768
A1a1 (2)	2200	1.92	2.4				
A1b1 (1)	2200	1.72	1.237	1.47	1.473		
A1b1 (2)	2200	1.22	1.709				
Perbandingan Lendutan saat P Elastis A1b1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	2200	1.74	2.048	1.83	2.224	19.672	33.768
A1a1 (2)	2200	1.92	2.4				
A1b1 (1)	2200	1.72	1.237	1.47	1.473		
A1b1 (2)	2200	1.22	1.709				
Perbandingan Lendutan saat P Elastis A1b1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	2700	2.07	2.487	1.995	2.4435	18.546	31.226
A1a1 (2)	2700	1.92	2.4				
A1b1 (1)	2700	1.72	1.237	1.625	1.6805		
A1b1 (2)	2700	1.53	2.124				
Persentase Rata-rata Perbandingan Lendutan P Elastis (%)						19.109	32.497

Tabel 4.7

Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata pada Beban Elastis

Persentase Rata-rata Perbandingan Lendutan terhadap Variasi Rasio pada Beban Elastis		
Jenis Tulangan	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)
Baja	63.790	71.255
Bambu Pilin	19.109	32.497



Gambar 4.12 Grafik Persentase Perubahan Lendutan Rata-rata pada Beban Elastis

Tabel 4.8

Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Baja pada Beban Maksimum

Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A0a1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	4900	18.39	19.394	9.195	9.697	49.375	55.378
A0a1 (2)	4900	0	0				
A0b1 (1)	4900	4.03	5.037	4.655	4.327		
A0b1 (2)	4900	5.28	3.617				
Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A0a1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (mm)
A0a1 (1)	4500	12.79	14.094	15.855	21.677	73.289	81.868
A0a1 (2)	4500	18.92	29.26				
A0b1 (1)	4500	3.69	4.587	4.235	3.9305		
A0b1 (2)	4500	4.78	3.274				
Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A0b1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	8100	0	0	0	0	100.000	100.000
A0a1 (2)	8100	0	0				
A0b1 (1)	8100	20.65	18.767	10.325	9.3835		
A0b1 (2)	8100	0	0				
Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A0b1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A0a1 (1)	7400	0	0	0	0	100.000	100.000
A0a1 (2)	7400	0	0				
A0b1 (1)	7400	14.1	13.817	22.39	22.127		
A0b1 (2)	7400	30.68	30.437				
Persentase Rata-rata Perbandingan Lendutan P Maksimum (%)						80.666	84.311

Tabel 4.9

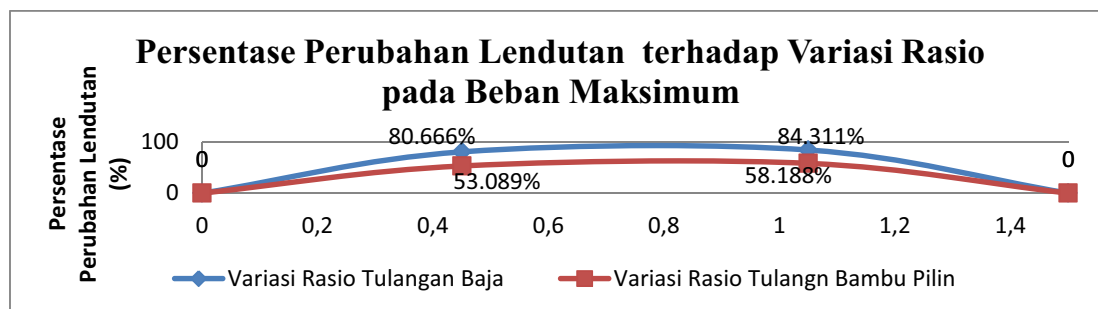
Persentase Perbandingan Lendutan Rata-rata antar Rasio Tulangan Bambu pada Beban Maksimum

Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A1a1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	5300	20.62	15.969	10.31	7.9845	100.000	100.000
A1a1 (2)	5300	0	0				
A1b1 (1)	5300	0	0	0	0		
A1b1 (2)	5300	0	0				
Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A1a1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	4100	8.71	9.956	11.535	15.0625	1.072	26.148
A1a1 (2)	4100	14.36	20.169				
A1b1 (1)	4100	12.31	10.767	11.66	11.124		
A1b1 (2)	4100	11.01	11.481				
Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A1b1 (1)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	4800	13.13	13.252	6.565	6.626	55.642	53.302
A1a1 (2)	4800	0	0				
A1b1 (1)	4800	15.45	13.507	14.8	14.189		
A1b1 (2)	4800	14.15	14.871				
Perbandingan Lendutan saat P Maksimum A1b1 (2)							
Benda Uji	P (Kg)	$\Delta 1$ (mm)	$\Delta 2$ (mm)	$\Delta 1$ Rata-rata (mm)	$\Delta 2$ Rata-rata (mm)	Selisih $\Delta 1$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)	Selisih $\Delta 2$ Rata-rata per Variasi Rasio (%)
A1a1 (1)	4800	13.13	13.252	6.565	6.626	55.642	53.302
A1a1 (2)	4800	0	0				
A1b1 (1)	4800	15.45	13.507	14.8	14.189		
A1b1 (2)	4800	14.15	14.871				
Persentase Rata-rata Perbandingan Lendutan P Maksimum (%)						53.089	58.188

Tabel 4.10

Persentase Perubahan Lendutan Rata-rata pada Beban Maksimum

Persentase Rata-rata Perbandingan Lendutan terhadap Variasi Rasio pada Beban Maksimum		
Jenis Tulangan	Titik 1 (%)	Titik 2 (%)
Baja	80.666	84.311
Bambu Pilin	53.089	58.188



Gambar 4.13 Grafik Persentase Perubahan Lendutan Rata-rata pada Beban Maksimum

Berdasarkan tabel dan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa peningkatan rasio bambu pilin tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap lendutan pada balok beton bertulang. Pengaruh peningkatan rasio tulangan baja pada beban elastis adalah 63,790% dan 71,255%, sedangkan pengaruh dari peningkatan rasio tulangan bambu pilin adalah 19,109% dan 32,497%. Pada beban maksimum, pengaruh peningkatan rasio tulangan baja adalah 80,666% dan 84,311%, sedangkan pengaruh dari peningkatan rasio tulangan bambu pilin adalah 53,089% dan 58,188%.

Pengaruh yang tidak terlalu signifikan pada tulangan bambu pilin terhadap lendutan dapat dipengaruhi oleh elastisitas bahan tulangan sebagaimana rumus lendutan adalah sebagai berikut.

$$\Delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \dots\dots\dots (4-1)$$

Dimana:

P = Beban (kg)

L = Panjang Bentang (m)

E = Elastisitas (kg/m^2)

I = Inersia (m^4)

Elastisitas pada baja adalah 200.000 MPa atau $20 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$. Sedangkan elastisitas bambu petung tanpa buku rata-rata hanya sebesar 21.658 MPa. Berdasarkan rumus lendutan pada persamaan (4-1) dapat dilihat bahwa semakin kecil elastisitas bahan maka lendutan yang terjadi akan semakin besar. Hal ini menyebabkan tulangan bambu yang memiliki rasio yang sama dengan baja masih memiliki perbedaan yang signifikan dalam menahan lendutan dibandingkan dengan tulangan baja.

4.5 Analisis Beban Teoritis dan Aktual Balok

4.5.1 Teoritis

Analisis balok beton pada penelitian kali ini menggunakan prinsip keseimbangan antara gaya tekan pada beton (C) pada tulangan baja dan bambu (T). Perhitungan P maksimum teoritis digunakan untuk mengetahui beban maksimum teoritis yang mampu ditahan oleh balok. Berikut ini contoh perhitungan P maksimum Teoritis pada Balok A_{0a1} (1) dengan perhitungan tulangan baja.

Data perencanaan :

$$f'_c = 20,052 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$L = 1600 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - d' \\ = 220 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Tulangan} = \varnothing 8 \text{ (4 buah tulangan)}$$

$$\text{As Tulangan} = (1/4 \times 3,14 \times 8^2) \times 4 \\ = 201,143 \text{ N/mm}^2$$

Kesetimbangan gaya :

$$\begin{aligned} C_c &= T && \text{(Asumsi baja tarik sudah leleh)} \\ (0,85 \times f'_c \times b \times a) &= A_s \times f_y \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ a &= \frac{190,476 \times 240}{0,85 \times 20,052 \times 180} \\ a &= 15,735 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral :

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta} \\ &= \frac{15,735}{0,85} \\ &= 18,512 \text{ mm} \end{aligned}$$

Regangan Tarik Baja :

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{d-c}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{220-18,406}{18,406} \\ &= 0,033 \end{aligned}$$

Tegangan Tarik Baja:

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,033 \times 200000 \\ &= 6571,646 \end{aligned}$$

$$6571,646 > 240 \text{ Baja Tarik Leleh (OK)}$$

Regangan Tekan Baja :

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{d'-c}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{30-18,406}{18,406} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Tegangan Tekan Baja :

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,002 \times 200000 \\ &= 377,952\end{aligned}$$

$377,952 > 240$ Baja Tekan Leleh (OK)

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned}M_n &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 0,85 \times 20,052 \times 15,645 \times 180 \times (220 - \frac{15,645}{2}) \\ &= 10,184 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Beban Lentur :

untuk 2 beban terpusat

$$M_u = M_n \times \phi \quad \phi = \text{koefisien reduksi (0.8)}$$

$$\frac{1}{2} P \times L = 10,184 \times 0,8$$

$$\frac{1}{2} P \times 0,45 = 8,147 \text{ kNm}$$

$$P = 36,210 \text{ kN}$$

$$P = 3621 \text{ Kg}$$

Berikut ini contoh perhitungan P maksimum Teoritis pada Balok A₁a₁ (1) dengan perhitungan tulangan bambu.

Data perencanaan :

$$f'_c = 31,01 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 190 \text{ Mpa}$$

$$L = 1600 \text{ mm}$$

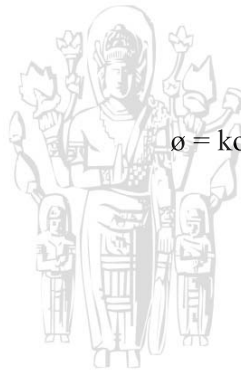
$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 220 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Berat bambu (dimensi 4 x 4 mm)} &= 30 \text{ gr} \\
 \text{BJ bambu} &= 700 \text{ kg/m}^3 = 700000 \text{ g/m}^3 \\
 \text{l bambu} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{As Tulangan Bambu Pilin} &= \frac{\text{berat bambu} \times 3}{\text{BJ bambu} \times l} \\
 &= \frac{30 \times 3}{700000 \times 1,5} \\
 &= 85,7 \text{ mm}^2 (\times 3 \text{ tulangan}) = 257,143 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keseimbangan gaya :

$$\begin{aligned}
 Cc &= T \\
 0,85 \times f'_c \times b \times a &= As \times f_y \\
 a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{257,143 \times 190}{0,85 \times 31,01 \times 180} \\
 &= 10,297 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal :

$$\begin{aligned}
 Mn &= As \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 257,143 \times 190 \times \left(220 - \frac{10,297}{2}\right) \\
 &= 10,497 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Beban Lentur :

$$\begin{aligned}
 &\text{untuk 2 beban terpusat} \\
 Mu &= Mn \times \phi \quad \phi = \text{koefisien reduksi (0.8)} \\
 \frac{1}{2} P \times L &= 10,497 \times 0,8 \\
 \frac{1}{2} P \times 0,45 &= 8,397 \text{ kNm} \\
 P &= 3732,3 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

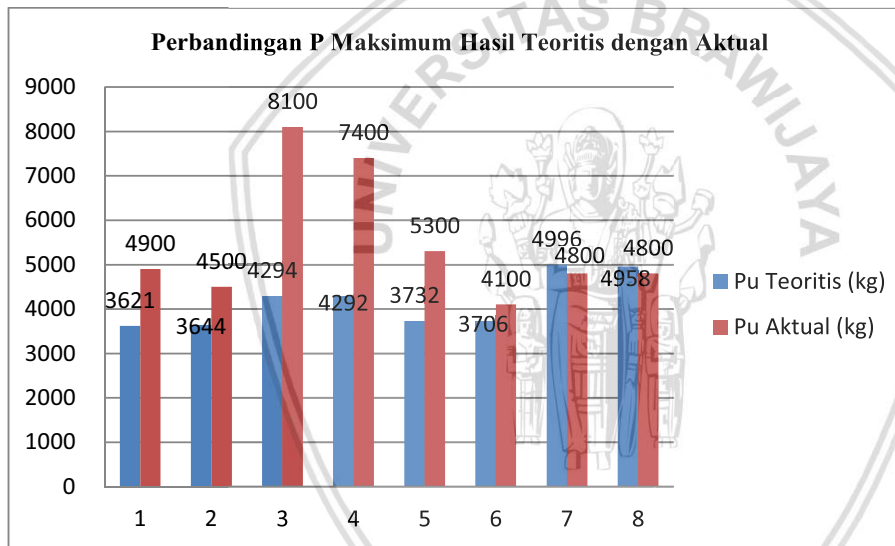
4.5.2 Perbandingan Pmaks Teoritis dengan Aktual

Perhitungan beban maksimum teoritis tulangan bambu dengan tulangan baja memiliki perbedaan perhitungan dengan mengabaikan asumsi tulangan tarik atau tekan mengalami leleh saat perhitungan momen nominal dikarenakan sifat bambu dengan baja tidak sama. Dari hasil perhitungan didapatkan beban maksimum teoritis terbesar dihasilkan oleh benda uji A₁b₁ (1) sebesar 4996,2 kg dan yang terkecil adalah benda uji A₀a₁ (1) sebesar 3621 kg. Berikut adalah tabel perbandingan hasil perhitungan beban maksimum teoritis dengan beban aktual.

Tabel 4.11

Perbandingan Beban Maksimum Teoritis dengan Aktual

No.	Benda Uji	f'_c (Mpa)	Pu Eksperimen (kg)	Pu Teoritis (kg)	Selisih (kg)	Selisih (%)
1	A0a1 (1)	20.052	4900	3641	1259	25.692
2	A0a1 (2)	24.050	4500	3664	836	18.588
3	A0b1 (1)	33.387	8100	4314	3786	46.744
4	A0b1 (2)	32.934	7400	4312	3088	41.727
5	A1a1 (1)	31.010	5300	3732	1568	29.580
6	A1a1 (2)	23.993	4100	3706	394	9.607
7	A1b1 (1)	33.444	4800	4996	196	3.926
8	A1b1 (2)	26.653	4800	4958	158	3.184
Rata-rata						22.381



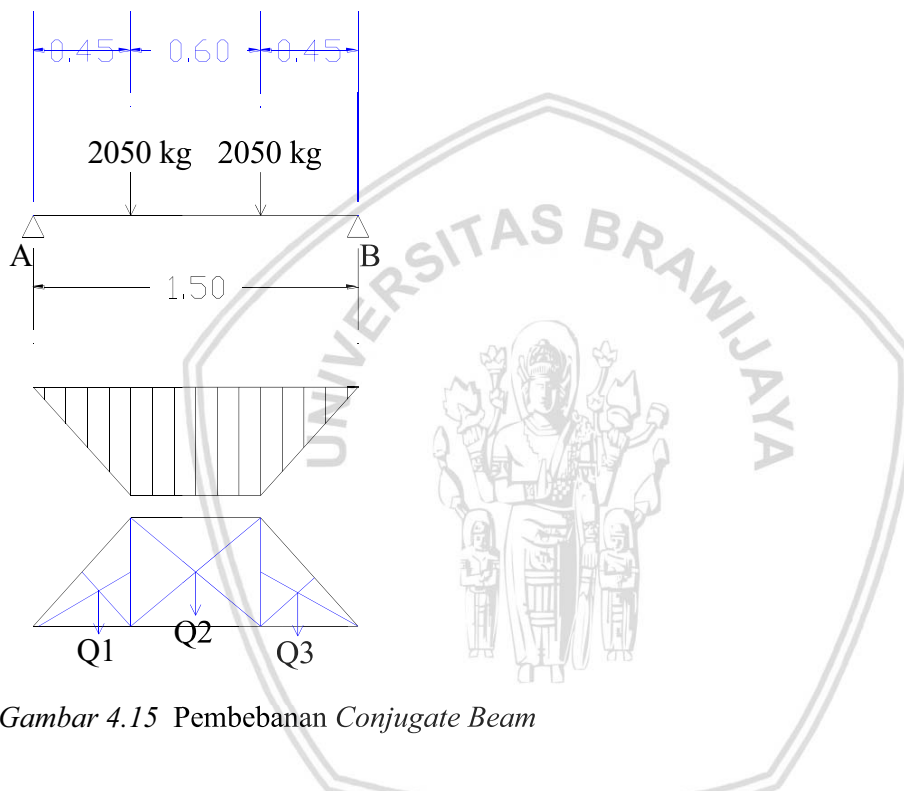
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan P Maksimum Teoritis dengan Aktual

Pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.14 menunjukkan bahwa hasil perhitungan perbandingan beban maksimum teoritis dengan aktual memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada benda uji balok bertulangan baja dengan rasio 1,05%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada perhitungan teoritis, beban maksimum diperhitungkan akibat tegangan teoritis, sedangkan dalam pembebanan aktual terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu kekakuan balok yang meliputi modulus elastisitas (E) dan inersia balok (I). Sehingga dapat dimungkinkan terjadi perbedaan dalam perencanaan beban maksimum teoritis dengan actual balok.

4.6 Analisis Lendutan dengan *Conjugate Beam*

4.6.1 Teoritis

Metode *Conjugate Beam* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung lendutan dan rotasi secara teoritis. Analisis dengan metode ini digunakan pada saat balok mengalami kondisi elastis. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan lendutan balok A_0a_1 (1) menggunakan metode *conjugate beam*.



Gambar 4.15 Pembebanan *Conjugate Beam*

P elastis pada balok A_0a_1 (1) terjadi pada beban 4100 kg. sehingga, P yang digunakan pada pembebanan *conjugate beam* adalah $R_a = R_b = \frac{1}{2} (4100) = 2050$ kg. Momen maksimum yang dihasilkan adalah 92250 kgm, maka :

$$Q_1 = 0,5 \times 45 \times 92250 = 2075625 \text{ kg}$$

$$Q_2 = 60 \times 92250 = 5535000 \text{ kg}$$

$$Q_3 = Q_1 = 2075625 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 9686250 \text{ kg}$$

$$R_a' = R_b' = 4843125 \text{ kg}$$

Berikut salah satu perhitungan lendutan teoritis untuk balok A_{0a1} (1).

$$b = 18 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$f'_c = 20,052 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 18 \times 25^3 = 23437,5 \text{ cm}^4$$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \sqrt{20,052}$$

$$= 21046,346 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta_E = \frac{M_E'}{EI}$$

$$= \frac{Ra' \times 45 - Q1 \times (45/3)}{EI}$$

$$= \frac{4843125 \times 45 - 2075625 \times (45/3)}{21046,346 \times 23437,5}$$

$$= 0,379 \text{ cm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan lendutan teoritis untuk balok A_{0a1} (1) sebesar 0,379 cm. Lendutan teoritis keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12

Lendutan Teoritis

No.	Benda Uji	f _c	P	Δ _e (cm)
1	A0a1 (1)	20.052	4100	0.379
2	A0a1 (2)	24.0501	3700	0.347
3	A0b1 (1)	33.3872	5500	0.437
4	A0b1 (2)	32.9345	5200	0.416
5	A1a1 (1)	31.0105	2700	0.223
6	A1a1 (2)	23.9935	2200	0.206
7	A1b1 (1)	33.4438	2200	0.175
8	A1b1 (2)	26.6531	2700	0.240

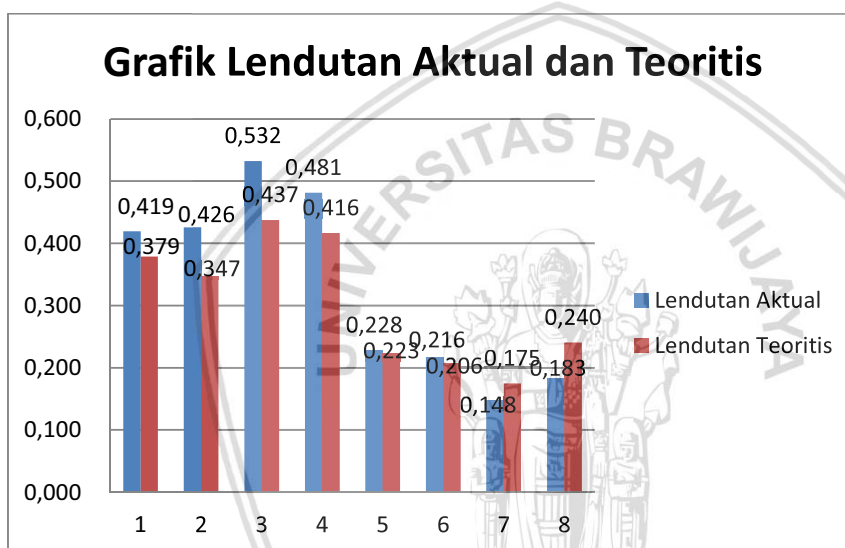
4.6.2 Perbandingan Lendutan Teoritis dengan Aktual

Hasil analisis lendutan secara teoritis menggunakan metode *conjugate beam* akan dibandingkan dengan lendutan yang terjadi secara aktual.

Tabel 4.13

Perbandingan Lendutan Teoritis dengan Lendutan Aktual

Δe (cm)	Aktual (cm)	Selisih	%
0.379	0.419	0.097	9.660
0.347	0.426	0.185	18.511
0.437	0.532	0.178	17.827
0.416	0.481	0.135	13.489
0.223	0.228	0.022	2.205
0.206	0.216	0.044	4.440
0.175	0.148	0.154	15.433
0.240	0.183	0.240	23.986
Rata-rata			13.194



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Lendutan Teoritis dan Aktual

Berdasarkan Tabel 4.13 dan Gambar 4.16 menunjukkan bahwa perbandingan lendutan teoritis dan aktual memiliki pola yang relatif sama namun nilainya berbeda dengan selisih persentase antara teoritis dan aktual sebesar 13,194 %. Lendutan aktual relatif lebih besar dari lendutan teoritis dikarenakan modulus elastisitas yang berbeda antara aktual dan teoritisnya dimana semakin besar modulus elastisitasnya maka semakin balok akan semakin kuat menahan beban dan menyebabkan lendutan semakin kecil.

4.7 Pengamatan Pola Retak Balok

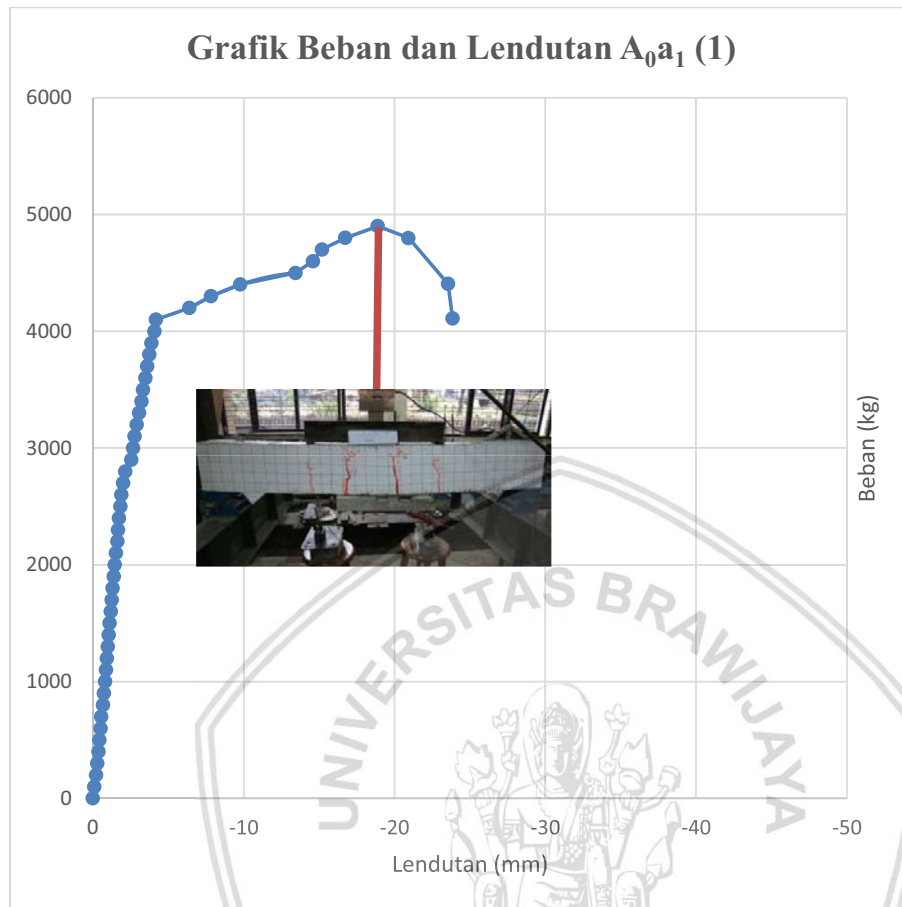
Pengamatan pola retak balok beton dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pola retak dengan kapasitas lentur balok. Pengamatan ini juga bertujuan untuk mengetahui perilaku retak dan keruntuhan yang terjadi pada balok tersebut. Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati dan memberi tanda pada retakan yang terjadi saat penambahan beban. Interval penambahan beban yang digunakan pada pengamatan kali ini adalah 100 kg.

Tabel 4.14

Pola Retak Balok Beton

Benda Uji	P Maks (kg)	P awal (kg)	Rata-rata P Awal	Jumlah Retak	
				Depan	Belakang
A0a1 (1)	4900	2800	2800	4	4
A0a1 (2)	4500	2800		4	5
A0b1 (1)	8100	3600	3500	7	7
A0b1 (2)	7400	3400		5	4
A1a1 (1)	5300	2700	2500	5	5
A1a1 (2)	4100	2300		3	3
A1b1 (1)	4800	2300	2500	3	3
A1b1 (2)	4800	2700		3	3

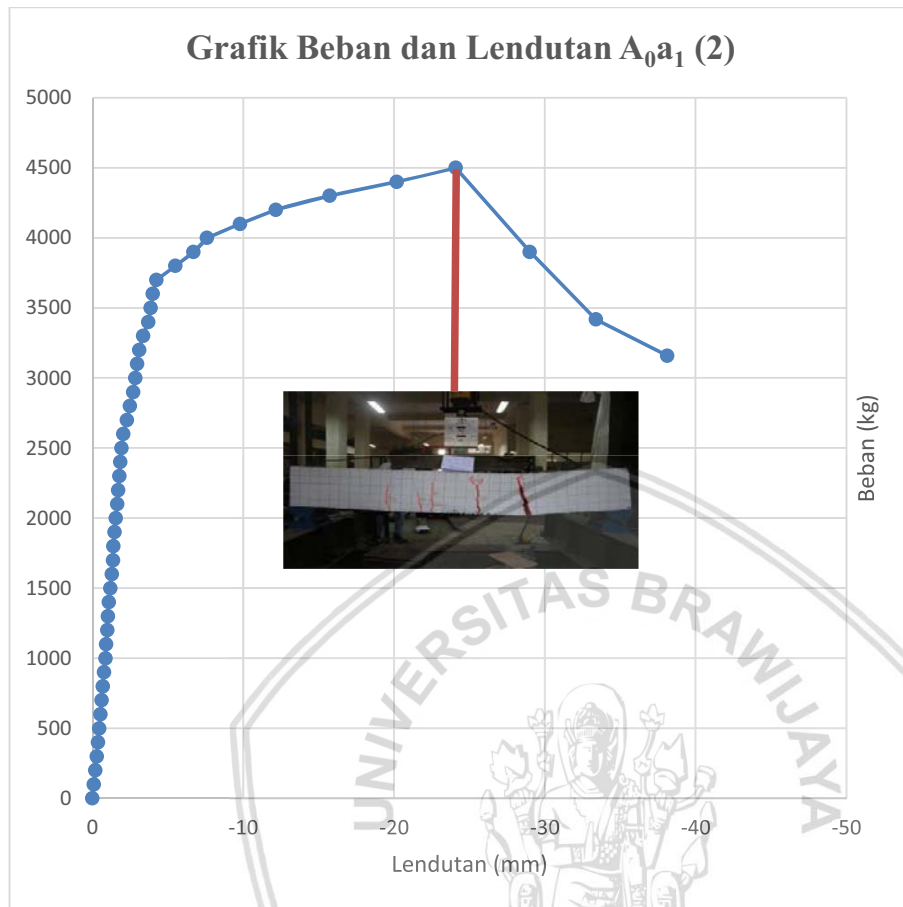
4.7.1 Pola Retak A_0a_1 (1)



Gambar 4.17 Pola Retak pada Balok A_0a_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%)

Pada Gambar 4.17 benda uji A_0a_1 (1) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 2800 kg. Retak yang terjadi merupakan retak rambut yang menandakan bahwa balok akan mencapai modulus keruntuhan. Setelah itu pada beban 4100 lendutan semakin landai seiring pertambahan beban. Hal ini menandakan bahwa fase elastis balok telah mencapai batasnya yang kemudian dilanjutkan dengan fase plastis. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 4900 kg.

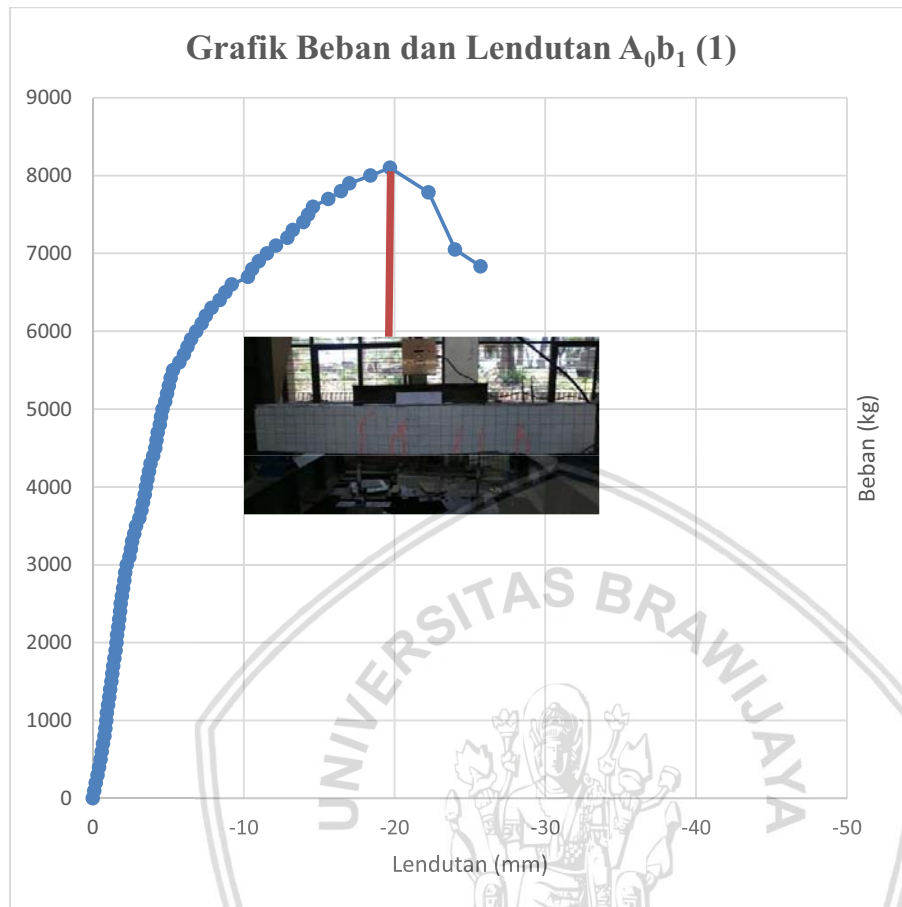
4.7.2 Pola Retak A_0a_1 (2)



Gambar 4.18 Pola Retak pada Balok A_0a_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%)

Pada Gambar 4.18 benda uji A_0a_1 (2) juga mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 2800 kg. Retak yang terjadi merupakan retak rambut yang menandakan bahwa balok akan mencapai modulus keruntuhan. Rata-rata retak awal pada balok beton dengan variasi rasio tulangan 0,78% adalah sebesar 2800 kg. Setelah itu pada beban 3700 kg lendutan semakin landai seiring pertambahan beban. Hal ini menandakan bahwa fase elastis balok telah mencapai batasnya yang kemudian dilanjutkan dengan fase plastis. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 4500 kg.

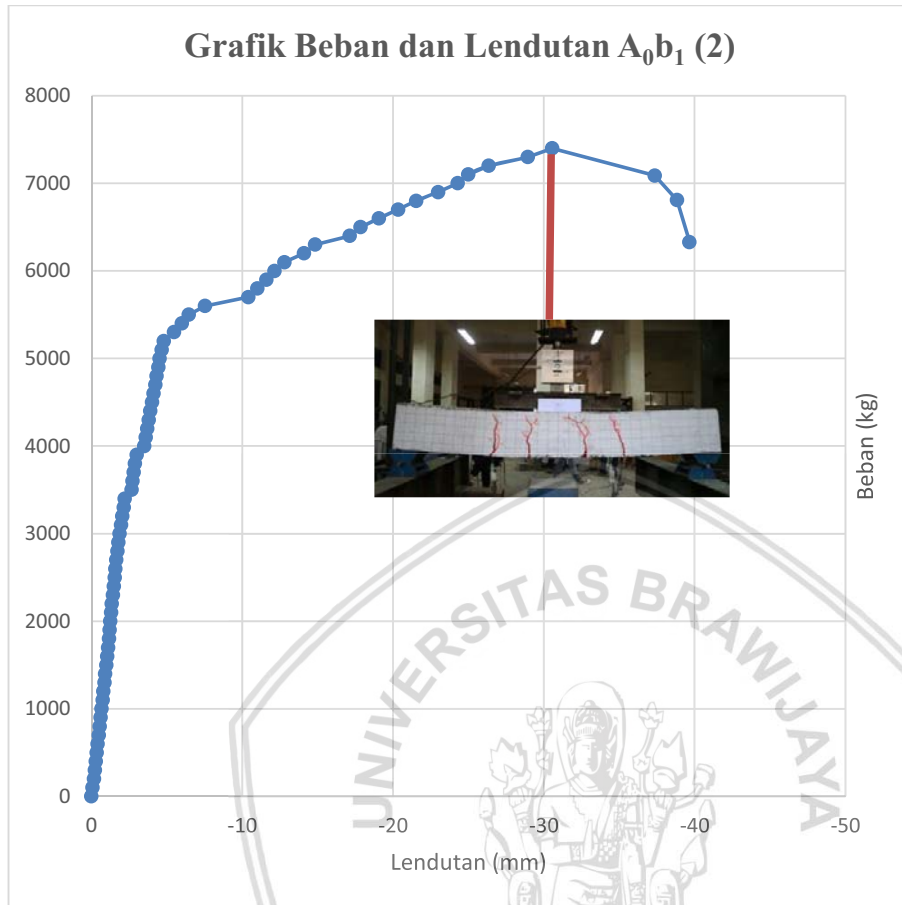
4.7.3 Pola Retak A_0b_1 (1)



Gambar 4.19 Pola Retak pada Balok A_0b_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)

Pada Gambar 4.19 benda uji A_0b_1 (1) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 3600 kg. Retak yang terjadi merupakan retak rambut yang menandakan bahwa balok akan mencapai modulus keruntuhan. Grafik relatif bergerak secara linier hingga beban 5500 kg sudut lengkungan mulai membesar. Hal ini menandakan bahwa fase elastis balok telah mencapai batasnya yang kemudian dilanjutkan dengan fase plastis. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 8100 kg.

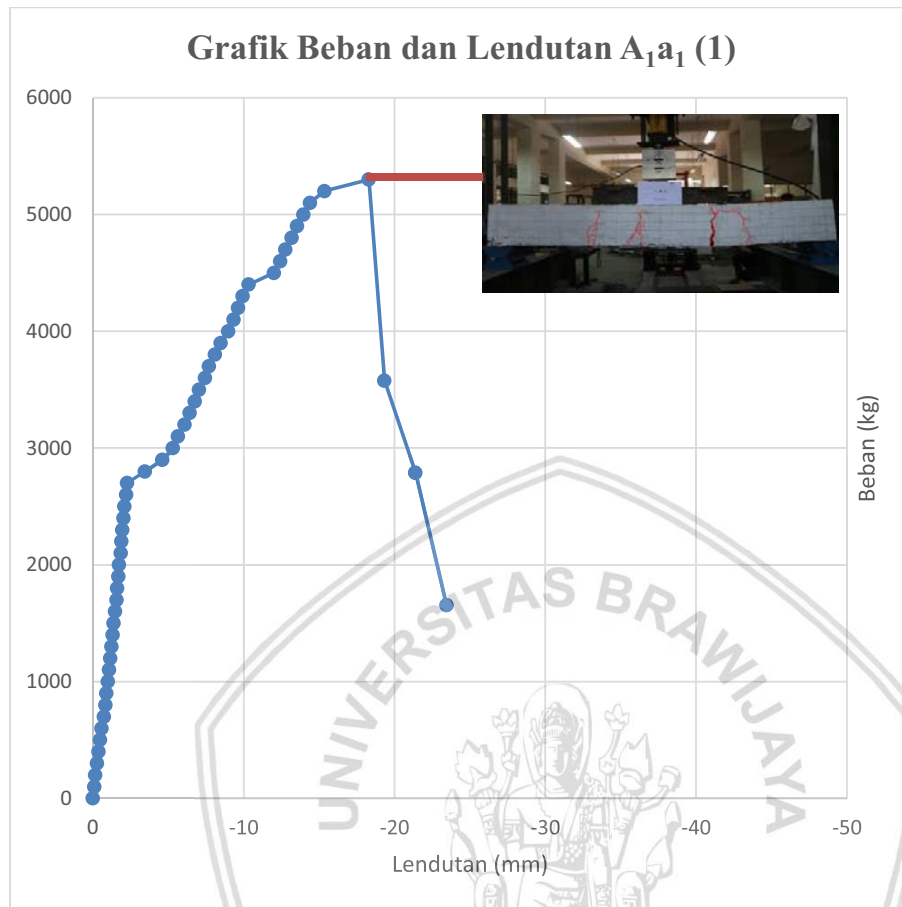
4.7.4 Pola Retak A_0b_1 (2)



Gambar 4.20 Pola Retak pada Balok A_0b_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)

Pada Gambar 4.20 benda uji A_0b_1 (2) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 3400 kg. Retak yang terjadi merupakan retak rambut yang menandakan bahwa balok akan mencapai modulus keruntuhan. Rata-rata retak awal pada balok beton tulangan baja dengan variasi rasio tulangan 1,05% adalah sebesar 3500 kg. Setelah itu pada beban 5200 kg lendutan semakin landai seiring pertambahan beban. Hal ini menandakan bahwa fase elastis balok telah mencapai batasnya yang kemudian dilanjutkan dengan fase plastis. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 7400 kg.

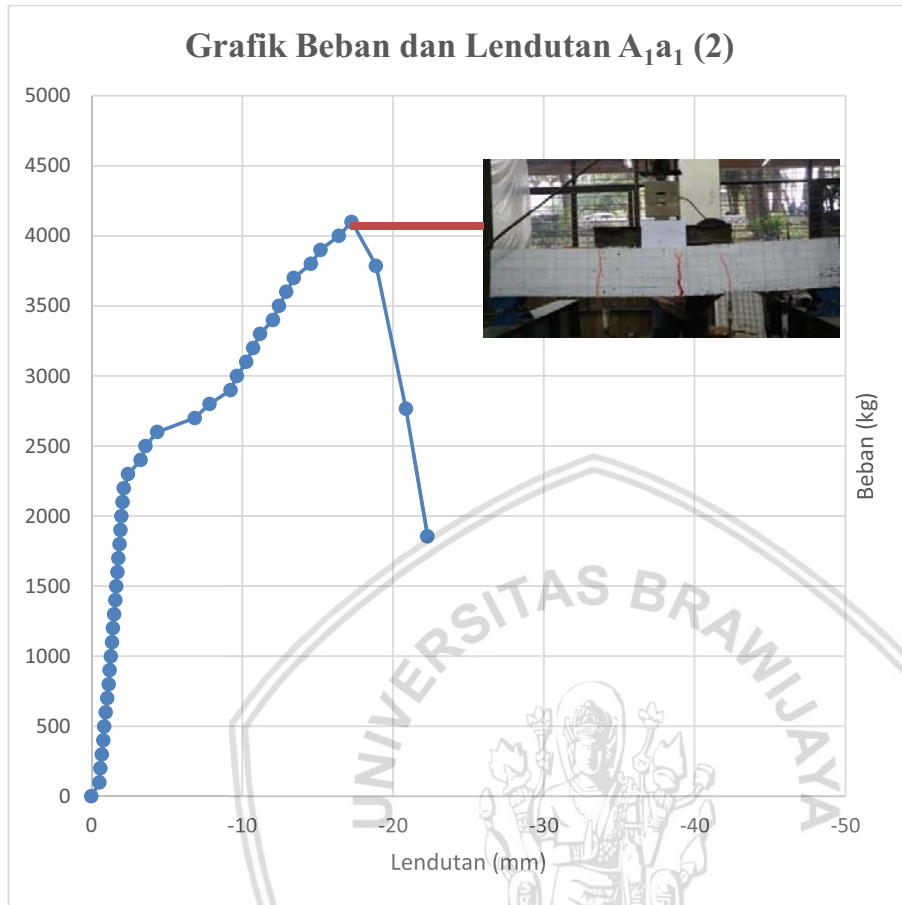
4.7.5 Pola Retak A_1a_1 (1)



Gambar 4.21 Pola Retak pada Balok A_1a_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Bambu 0,78%)

Pada Gambar 4.21 benda uji A_1a_1 (1) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 2700 kg. Grafik relatif bergerak secara linier hingga beban 2700 kg sudut lengkungan mulai membesar. Retak awal dan fase elastis terjadi pada saat yang bersamaan, hal ini menandakan bahwa tulangan balok bersifat getas. Sehingga keruntuhan balok dapat terjadi tanpa diawali tanda-tanda keruntuhan. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 5300 kg.

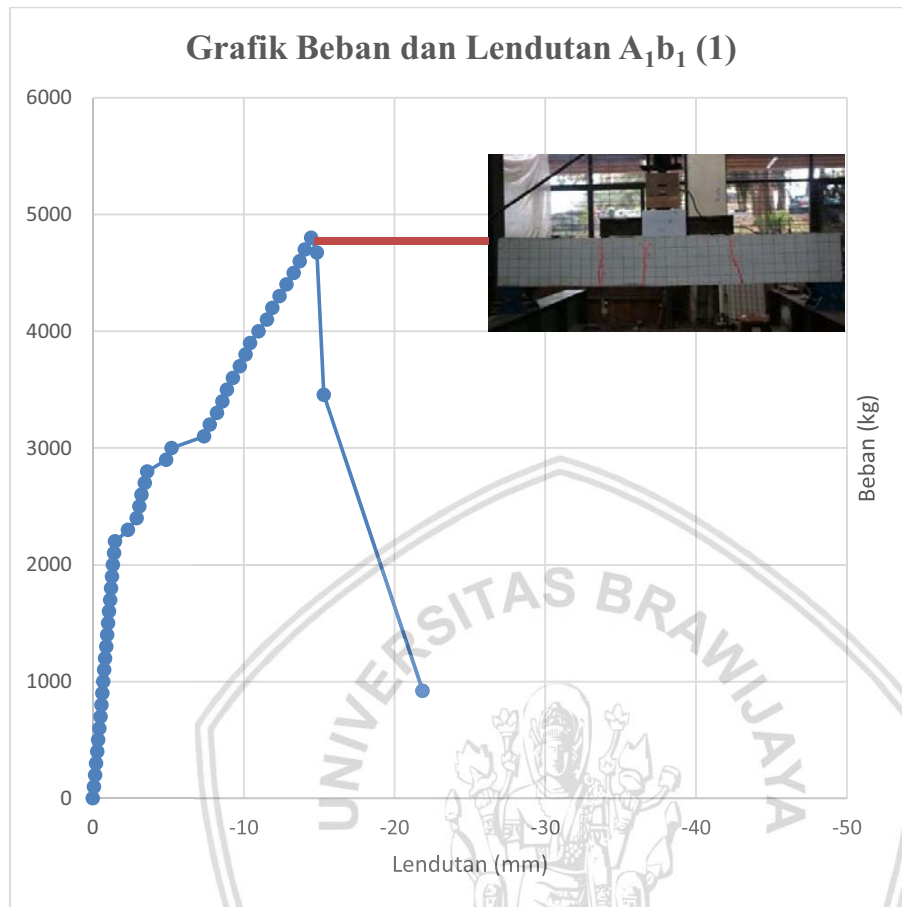
4.7.6 Pola Retak A₁a₁ (2)



Gambar 4.22 Pola Retak pada Balok A₁a₁ (2) (Variasi Rasio Tulangan Bambu 0,78%)

Pada Gambar 4.22 benda uji A₁a₁ (2) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 2300 kg. Grafik relatif bergerak secara linier hingga beban 2200 kg sudut lengkungan mulai membesar. Retak awal dan fase elastis terjadi pada saat yang hampir bersamaan, hal ini menandakan bahwa tulangan balok bersifat getas. Sehingga keruntuhan balok dapat terjadi tanpa diawali tanda-tanda keruntuhan. Rata-rata retak awal pada balok beton tulangan baambu dengan variasi rasio tulangan 0,78% adalah sebesar 2500 kg Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 4100 kg.

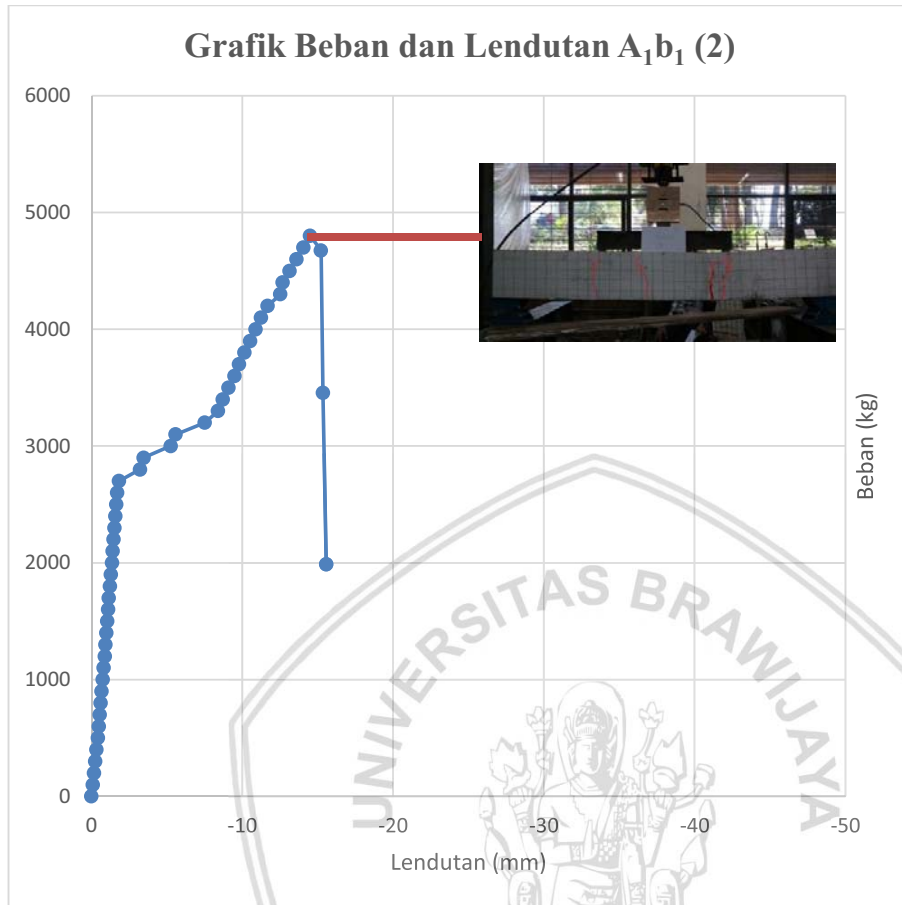
4.7.7 Pola Retak A_1b_1 (1)



Gambar 4.23 Pola Retak pada Balok A_1b_1 (1) (Variasi Rasio Tulangan Bambu 1,05%)

Pada Gambar 4.23 benda uji A_1b_1 (1) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 2300 kg. Grafik relatif bergerak secara linier hingga beban 2200 kg sudut lengkungan mulai membesar. Retak awal dan fase elastis terjadi pada saat yang hampir bersamaan, hal ini menandakan bahwa tulangan balok bersifat getas. Sehingga keruntuhan balok dapat terjadi tanpa diawali tanda-tanda keruntuhan. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 4800 kg.

4.7.8 Pola Retak A_1b_1 (2)



Gambar 4.24 Pola Retak pada Balok A_1b_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Bambu 1,05%)

Pada Gambar 4.24 benda uji A_1b_1 (2) mengalami retak awal (*initial crack*) pada beban 2700 kg. Grafik relatif bergerak secara linier hingga beban 2700 kg sudut lengkungan mulai membesar. Retak awal dan fase elastis terjadi pada saat yang bersamaan, hal ini menandakan bahwa tulangan balok bersifat getas. Sehingga keruntuhan balok dapat terjadi tanpa diawali tanda-tanda keruntuhan. Rata-rata retak awal pada balok beton tulangan baambu dengan variasi rasio tulangan 1,05% adalah sebesar 2500 kg. Penambahan beban mengakibatkan bertambahnya jumlah dan panjang retak yang kemudian berakhir pada beban maksimum sebesar 4800 kg.

4.8 Lebar dan Panjang Retak Balok

Pada penelitian kali ini lebar dan panjang retak diukur dengan menggunakan *DinoLite*, penggaris, dan benang. Retak terjadi akibat tingginya tegangan pada tulangan balok saat diberi beban layan. Oleh karena itu pola dan lebar retak perlu ditinjau. Hasil dari lebar dan panjang retak dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.15

Lebar dan Panjang Retak Balok Beton

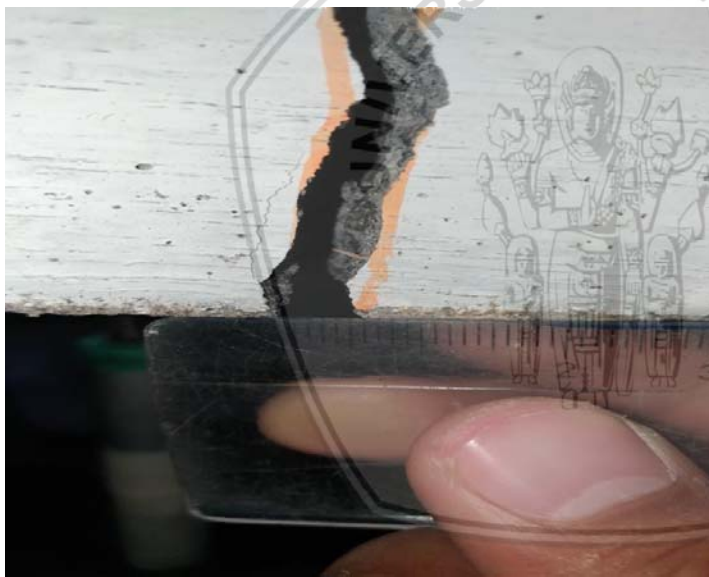
Benda Uji	Lebar Retak (cm)	Panjang Retak Depan (cm)	Panjang Retak Belakang (cm)	Panjang Retak Rata-rata (cm)
A0a1 (1)	0.722	26.3	26.1	26.2
A0a1 (2)	2.6	25.8	27.5	26.65
A0b1 (1)	0.6	30	29.8	29.9
A0b1 (2)	1.9	29.1	29.2	29.15
A1a1 (1)	1.126	34	30	32
A1a1 (2)	1.057	27	26.8	26.9
A1b1 (1)	1.332	26.5	27.5	27
A1b1 (2)	1.780	26.7	27.2	26.95



Gambar 4.25 Lebar Retak A_{0a1} (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%)



Gambar 4.26 Lebar Retak A_{0a1} (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 0,78%)



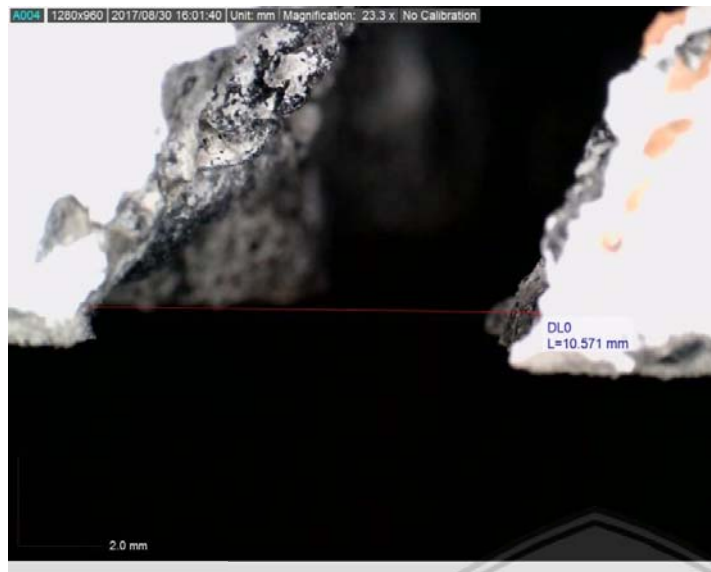
Gambar 4.27 Lebar Retak A_{0b1} (1) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)



Gambar 4.28 Lebar Retak A_{0b1} (2) (Variasi Rasio Tulangan Baja 1,05%)



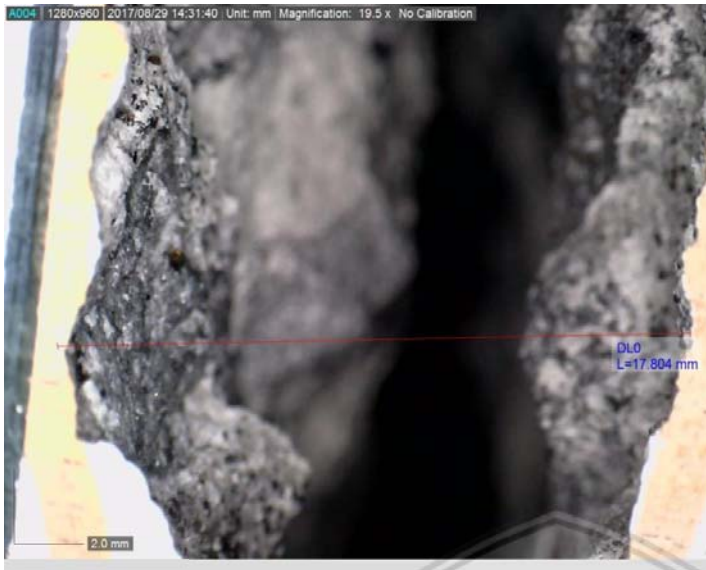
Gambar 4.29 Lebar Retak A_{1a1} (1) (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 0,78%)



Gambar 4.30 Lebar Retak A_{1a1} (2) (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 0,78%)



Gambar 4.31 Lebar Retak A_{1b1} (1) (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 1,05%)



Gambar 4.32 Lebar Retak A_1b_1 (2) (Variasi Rasio Tulangan Bambu Pilin 1,05%)

Berdasarkan Tabel 4.15 terdapat variasi lebar dan panjang retak balok beton. Lebar maksimum yang diizinkan pada struktur dengan kondisi udara kering menurut *ACICommittee 224* adalah sebesar 0,41 mm. Hasil pengujian pada balok menunjukkan bahwa lebar retak balok tidak ada yang memenuhi lebar izin.



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil pada penelitian kali ini yaitu:

1. Peningkatan rasio tulangan bambu pilin tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap kuat lentur balok bertulang yang mana mencakup: kapasitas beban dan lendutan. Pengaruh variasi rasio tulangan terhadap kapasitas beban balok bertulangan bambu bambu pilin sebesar 2,083%. Sedangkan pengaruh variasi rasio tulangan terhadap kapasitas beban balok bertulangan baja sebesar 39,55%. Pengaruh variasi rasio tulangan terhadap lendutan balok bertulangan bambu pilin sebesar 19,109% dan 32,497% pada kondisi elastis dan juga 53,089% dan 58,188% pada kondisi beban maksimum, sedangkan pengaruh variasi rasio tulangan terhadap lendutan balok bertulangan baja sebesar 63,790% dan 71,255% pada kondisi elastis dan juga 80,666% dan 84,311% pada kondisi beban maksimum. Pengaruh peningkatan rasio tulangan yang kurang signifikan pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu pilin dapat diakibatkan karena modulus elastisitas bambu yang lebih rendah dari baja.
2. Analisis beban dan lendutan balok menunjukkan bahwa beban dan lendutan teoritis yang dilaksanakan pada penelitian kali ini memiliki pola yang sama dengan beban dan lendutan aktual, namun nilai yang dihasilkan cukup berbeda. Persentase selisih beban maksimum antara teoritis dengan aktual adalah sebesar 22,381%, sedangkan persentase selisih lendutan teoritis dan aktual adalah sebesar 13,198%.
3. Pola retak dan keruntuhan balok diawali dengan retak lentur. Retak lentur merambat seiring pertambahan beban. Jumlah retak pada balok dengan rasio tulangan 1,05% lebih besar dibandingkan dengan jumlah retak pada rasio tulangan 0,78% pada tulangan baja. Sedangkan jumlah retak pada balok dengan rasio tulangan 1,05% kurang lebih sama dibandingkan dengan jumlah retak pada rasio tulangan kecil 0.78% pada tulangan bambu pilin. Hal ini dapat terjadi karena balok dengan tulangan bambu lebih bersifat getas dibandingkan balok bertulangan baja, sehingga pada penelitian kali ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio tulangan terhadap pola retak pada

pengujian lentur balok bertulangan bambu pilin tidak memberikan dampak yang signifikan.

5.2 Saran

Selama penelitian ini dilaksanakan, banyak kendala yang terjadi baik selama pembuatan maupun pengujian. Maka diperlukan saran bagi peneliti selanjutnya untuk menunjang penelitian dimasa yang akan datang, antara lain sebagai berikut :

1. Penelitian ini memiliki kelemahan pada data dikarenakan jumlah sampel yang kurang. Maka diperlukan sampel benda uji yang lebih banyak untuk mengurangi kesalahan sample dan hasil grafik yang lebih maksimal.
2. Penomoran benda uji lebih sederhana untuk memudahkan dalam membaca hasil penelitian.
3. Beton harus dilakukan *curing* secara maksimal. Proses *curing* yang tidak maksimal dapat mengakibatkan mutu beton yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi hasil pengujian.
4. Pada pengujian kali ini terdapat salah satu kendala yaitu keruntuhan hanya pada salah satu sisi balok. Hal ini dapat terjadi dikarenakan permukaan pada alas pembebanan yang tidak rata dapat menyebabkan pembebanan menjadi tidak merata. Maka untuk kedepannya harus diperhatikan penempatan beban dan alat uji lainnya pada saat pengujian kuat lentur balok. Sehingga hasil pengujian lentur dapat optimal.
5. Banyaknya kelemahan pada penelitian kali ini meengakibatkan diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh variasi rasio tulangan bambu pilin terhadap kuat lentur balok beton bertulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Pinto, AF., Dewi, S. M. & Nuralinah, D (2016). *Aplikasi Rajutan Bambu Sebagai Tulangan Balok Bertulang*. Jurnal Media Teknik Sipil. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Departemen Pekerjaan Umum. SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Morisco. (1990). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Ghavami, K. (2005). *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements*. J. Cement & Concrete Composites, elevier, 27, 637-649.
- Setiawan R. & Dewi, S. M. (2016). *Pengaruh Rasio Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait*. Jurnal Teknik Sipil/Vol. 1, No. 2. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Dipohusodo, Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Ditjen Cipta Karya. (1971). *Peraturan Beton Indonesia 1971*. Jakarta: Ditjen Cipta Karya.
- Janssen, J. J. A. (2000). *Designing and Building with Bamboo*. Technical Report No. 20. INBAR
- Mulyono,T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI.
- Nurlina, Siti. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- Setya Budi, A. S., & Sugiarto. (2013). *Kuat Lekat Tulangan Bambu Wulung dan Petung Takikan pada Beton Normal*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Surjokusumo. S. & Nugroho, N. (1993). *Studi Penggunaan Bambu Sebagai Bahan Tulangan Beton*. Laporan Penelitian. Bogor: Insititut Pertanian Bogor.
- Setya Budi, A. S., & Sugiarto. (2013). *Model Balok Beton Bertulangan Bambu Sebagai Pengganti Tulangan Baja: S245-S252*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Suryoatmono, B. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Nawy, E., G. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Wang, C. K. & Salmon, C. G. (1985). *Desain Beton Bertulang*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Tjokrodimulyo. (1992). *Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjahmada*, Yogyakarta. Yogyakarta : Universitas Gadjahmada.
- Tjokrodimulyo. (2004). *Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjahmada*, Yogyakarta. Yogyakarta : Universitas Gadjahmada.



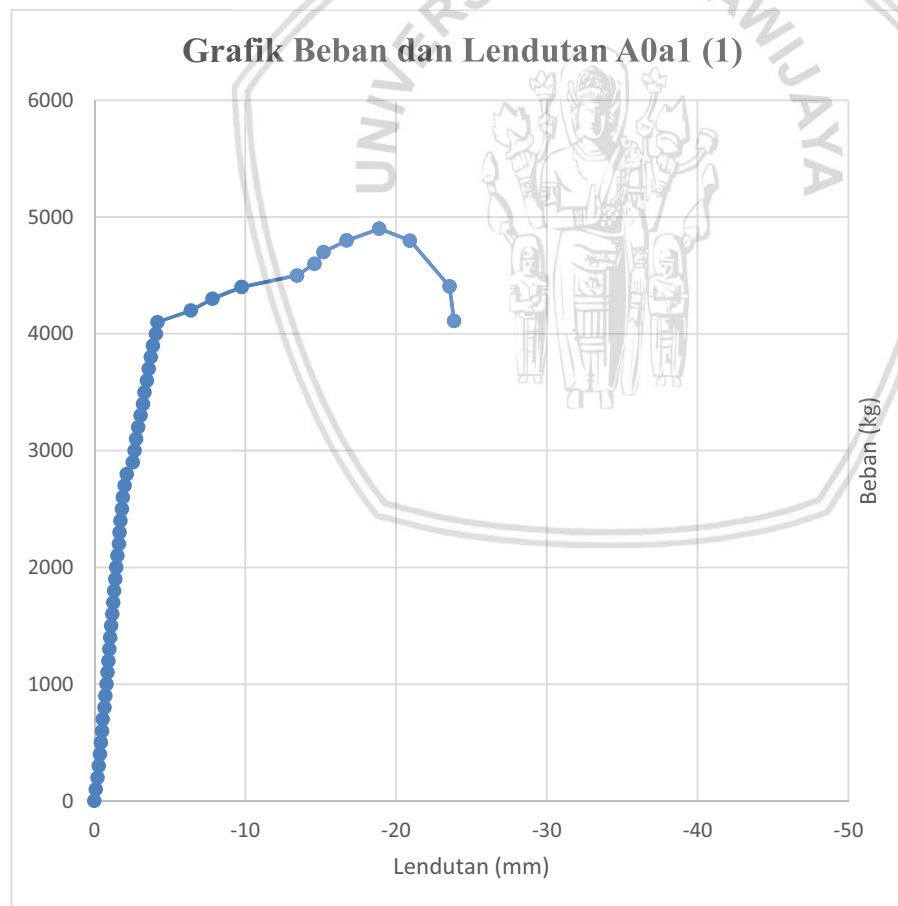
Lampiran 1

Data Pengujian Lentur

Tabel dan Grafik pengujian A_{0a1} (1) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	1.61	3.606	0
1	100	100	1.66	3.736	-0.09
2	100	200	1.75	3.88	-0.207
3	100	300	1.82	3.997	-0.3005
4	100	400	1.87	4.099	-0.3765
5	100	500	1.93	4.172	-0.443
6	100	600	2	4.259	-0.5215
7	100	700	2.05	4.257	-0.5455
8	100	800	2.12	4.44	-0.672
9	100	900	2.18	4.52	-0.742
10	100	1000	2.24	4.59	-0.807
11	100	1100	2.3	4.665	-0.8745
12	100	1200	2.35	4.72	-0.927
13	100	1300	2.41	4.798	-0.996
14	100	1400	2.46	4.875	-1.0595
15	100	1500	2.51	4.95	-1.122
16	100	1600	2.57	5.037	-1.1955
17	100	1700	2.63	5.103	-1.2585
18	100	1800	2.68	5.169	-1.3165
19	100	1900	2.75	5.25	-1.392
20	100	2000	2.8	5.337	-1.4605
21	100	2100	2.87	5.409	-1.5315
22	100	2200	2.95	5.52	-1.627
23	100	2300	2.99	5.575	-1.6745
24	100	2400	3.05	5.63	-1.732
25	100	2500	3.13	5.73	-1.822
26	100	2600	3.19	5.81	-1.892
27	100	2700	3.3	5.93	-2.007
28	100	2800	3.42	6.11	-2.157
29	100	2900	3.8	6.5	-2.542
30	100	3000	3.91	6.663	-2.6785
31	100	3100	3.99	6.77	-2.772
32	100	3200	4.11	6.93	-2.912
33	100	3300	4.27	7.08	-3.067
34	100	3400	4.43	7.25	-3.232
35	100	3500	4.53	7.36	-3.337
36	100	3600	4.67	7.53	-3.492

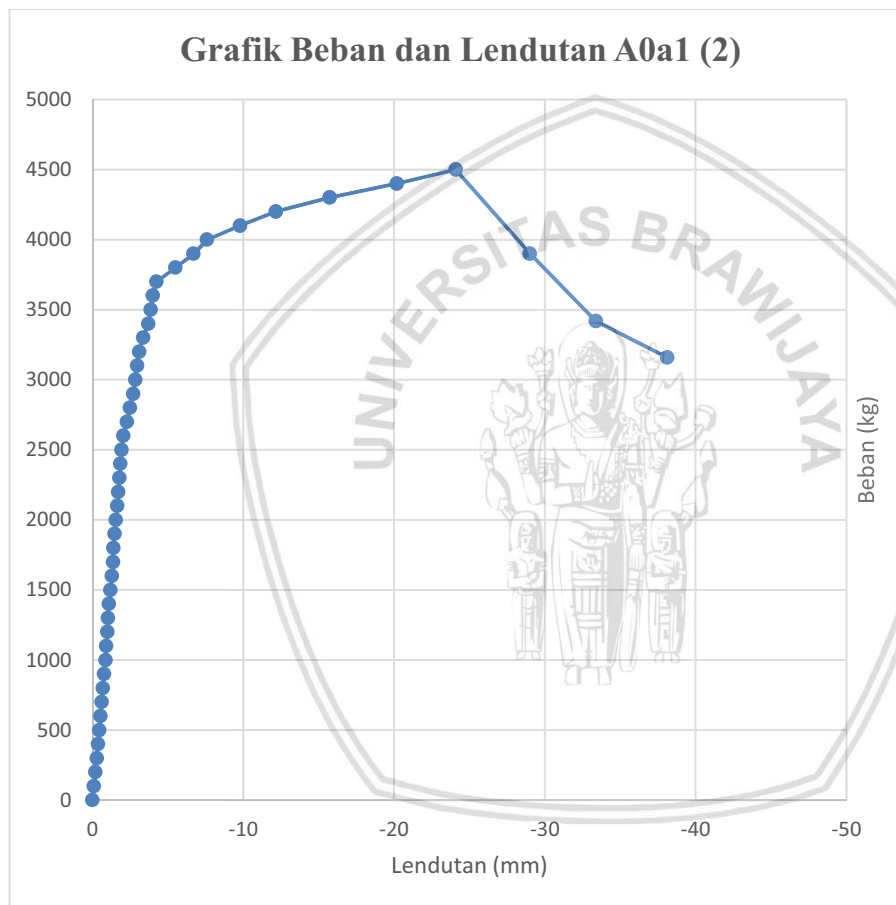
37	100	3700	4.78	7.65	-3.607
38	100	3800	4.91	7.8	-3.747
39	100	3900	5.05	7.95	-3.892
40	100	4000	5.22	8.16	-4.082
41	100	4100	5.33	8.27	-4.192
42	100	4200	7.1	10.9	-6.392
43	100	4300	8.4	12.5	-7.842
44	100	4400	9.83	14.916	-9.765
45	100	4500	14.4	17.7	-13.442
46	100	4600	15.6	18.8	-14.592
47	100	4700	16.2	19.4	-15.192
48	100	4800	17.9	20.8	-16.742
49	100	4900	20	23	-18.892
50	-102	4798	22.08	25	-20.932
51	-393	4405	24.4	27.93	-23.557
52	-296	4109	24.54	28.381	-23.852



Tabel dan Grafik pengujian A_{0a1} (2) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata- rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	6.38	5.54	0
1	100	100	6.49	5.625	-0.0975
2	100	200	6.59	5.725	-0.1975
3	100	300	6.69	5.808	-0.289
4	100	400	6.79	5.884	-0.377
5	100	500	6.88	5.963	-0.4615
6	100	600	6.97	6.029	-0.5395
7	100	700	7.06	6.092	-0.616
8	100	800	7.14	6.157	-0.6885
9	100	900	7.23	6.225	-0.7675
10	100	1000	7.35	6.317	-0.8735
11	100	1100	7.4	6.356	-0.918
12	100	1200	7.48	6.429	-0.9945
13	100	1300	7.52	6.461	-1.0305
14	100	1400	7.6	6.521	-1.1005
15	100	1500	7.7	6.586	-1.183
16	100	1600	7.84	6.673	-1.2965
17	100	1700	7.92	6.725	-1.3625
18	100	1800	7.92	6.774	-1.387
19	100	1900	8.01	6.836	-1.463
20	100	2000	8.11	6.909	-1.5495
21	100	2100	8.25	6.985	-1.6575
22	100	2200	8.32	7.033	-1.7165
23	100	2300	8.39	7.103	-1.7865
24	100	2400	8.47	7.152	-1.851
25	100	2500	8.56	7.237	-1.9385
26	100	2600	8.65	7.37	-2.05
27	100	2700	8.86	7.65	-2.295
28	100	2800	8.98	7.9	-2.48
29	100	2900	9.2	8.119	-2.6995
30	100	3000	9.37	8.25	-2.85
31	100	3100	9.47	8.37	-2.96
32	100	3200	9.63	8.5	-3.105
33	100	3300	9.92	8.72	-3.36
34	100	3400	10.36	8.96	-3.7
35	100	3500	10.55	9.11	-3.87
36	100	3600	10.7	9.221	-4.0005
37	100	3700	10.9	9.53	-4.255
38	100	3800	11.8	11.14	-5.51
39	100	3900	12.62	12.7	-6.7

40	100	4000	13.22	13.9	-7.6
41	100	4100	14.71	16.78	-9.785
42	100	4200	16.27	20	-12.175
43	100	4300	19.39	24	-15.735
44	100	4400	22.8	29.5	-20.19
45	100	4500	25.3	34.8	-24.09
46	-600	3900	28.74	41.21	-29.015
47	-482	3418	31.23	47.48	-33.395
48	-259	3159	35.4	52.76	-38.12

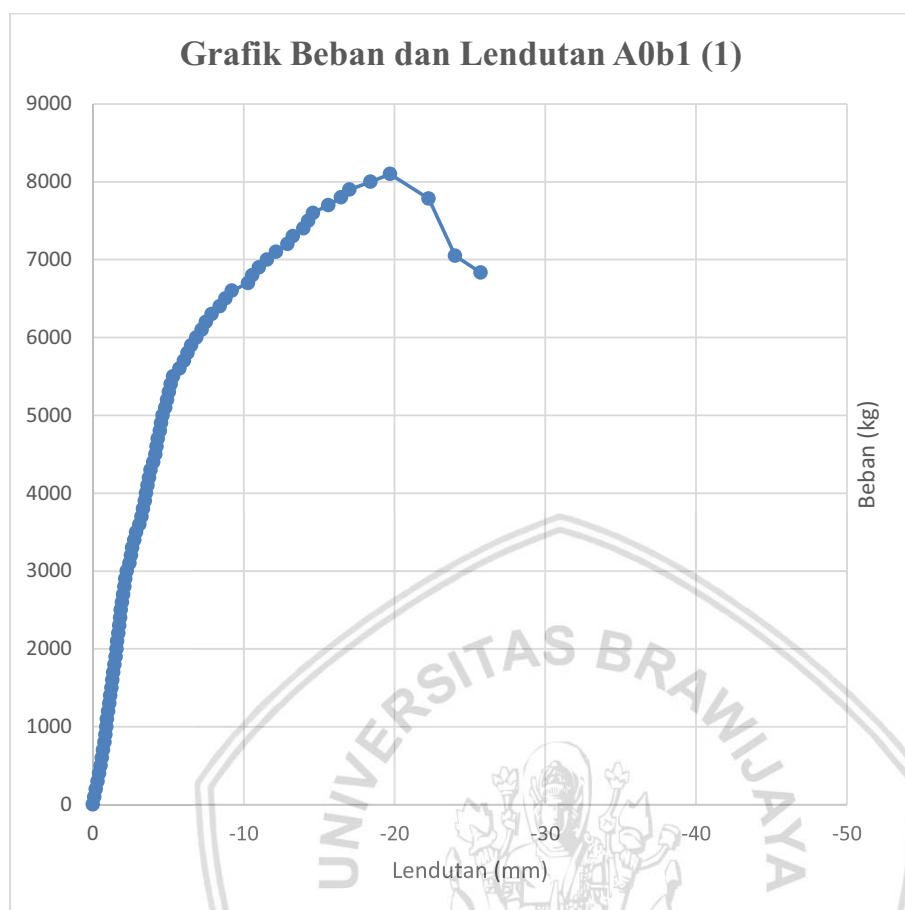


Tabel dan Grafik pengujian A₀b₁ (1) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	6.55	0.533	0
1	100	100	6.59	0.684	-0.0955
2	100	200	6.66	0.829	-0.203
3	100	300	6.71	0.986	-0.3065
4	100	400	6.82	1.095	-0.416

5	100	500	6.92	1.191	-0.514
6	100	600	6.99	1.279	-0.593
7	100	700	7.08	1.362	-0.6795
8	100	800	7.16	1.461	-0.769
9	100	900	7.22	1.515	-0.826
10	100	1000	7.27	1.6	-0.8935
11	100	1100	7.34	1.625	-0.941
12	100	1200	7.4	1.711	-1.014
13	100	1300	7.47	1.793	-1.09
14	100	1400	7.52	1.883	-1.16
15	100	1500	7.57	1.966	-1.2265
16	100	1600	7.62	2.028	-1.2825
17	100	1700	7.69	2.111	-1.359
18	100	1800	7.74	2.213	-1.435
19	100	1900	7.81	2.307	-1.517
20	100	2000	7.85	2.377	-1.572
21	100	2100	7.89	2.424	-1.6155
22	100	2200	7.95	2.514	-1.6905
23	100	2300	7.99	2.582	-1.7445
24	100	2400	8.05	2.657	-1.812
25	100	2500	8.1	2.67	-1.8435
26	100	2600	8.16	2.795	-1.936
27	100	2700	8.23	2.883	-2.015
28	100	2800	8.29	2.969	-2.088
29	100	2900	8.35	3.035	-2.151
30	100	3000	8.43	3.15	-2.2485
31	100	3100	8.62	3.335	-2.436
32	100	3200	8.7	3.426	-2.5215
33	100	3300	8.79	3.53	-2.6185
34	100	3400	8.94	3.65	-2.7535
35	100	3500	9.06	3.74	-2.8585
36	100	3600	9.29	3.96	-3.0835
37	100	3700	9.43	4.121	-3.234
38	100	3800	9.53	4.222	-3.3345
39	100	3900	9.63	4.335	-3.441
40	100	4000	9.71	4.431	-3.529
41	100	4100	9.8	4.52	-3.6185
42	100	4200	9.9	4.63	-3.7235
43	100	4300	10	4.73	-3.8235
44	100	4400	10.11	4.97	-3.9985
45	100	4500	10.24	5.12	-4.1385
46	100	4600	10.31	5.222	-4.2245
47	100	4700	10.39	5.316	-4.3115
48	100	4800	10.51	5.47	-4.4485
49	100	4900	10.58	5.57	-4.5335

50	100	5000	10.64	5.7	-4.6285
51	100	5100	10.78	5.92	-4.8085
52	100	5200	10.88	6.048	-4.9225
53	100	5300	10.97	6.19	-5.0385
54	100	5400	11.1	6.31	-5.1635
55	100	5500	11.26	6.47	-5.3235
56	100	5600	11.77	6.81	-5.7485
57	100	5700	12.15	7.01	-6.0385
58	100	5800	12.42	7.21	-6.2735
59	100	5900	12.7	7.42	-6.5185
60	100	6000	13.14	7.68	-6.8685
61	100	6100	13.5	8	-7.2085
62	100	6200	13.85	8.23	-7.4985
63	100	6300	14.3	8.55	-7.8835
64	100	6400	14.9	9.03	-8.4235
65	100	6500	15.3	9.36	-8.7885
66	100	6600	15.77	9.75	-9.2185
67	100	6700	16.8	10.88	-10.298
68	100	6800	17.1	11.12	-10.568
69	100	6900	17.5	11.6	-11.008
70	100	7000	18	12.16	-11.538
71	100	7100	18.72	12.65	-12.143
72	100	7200	19.48	13.4	-12.898
73	100	7300	19.9	13.7	-13.258
74	100	7400	20.65	14.35	-13.958
75	100	7500	21.05	14.59	-14.278
76	100	7600	21.41	14.87	-14.598
77	100	7700	22.7	15.6	-15.608
78	100	7800	23.6	16.4	-16.458
79	100	7900	24.2	16.9	-17.008
80	100	8000	25.7	18.2	-18.408
81	100	8100	27.2	19.3	-19.708
82	-316	7784	30.22	21.405	-22.271
83	-736	7048	32.81	22.322	-24.024
83	-213	6835	35.98	22.519	-25.708

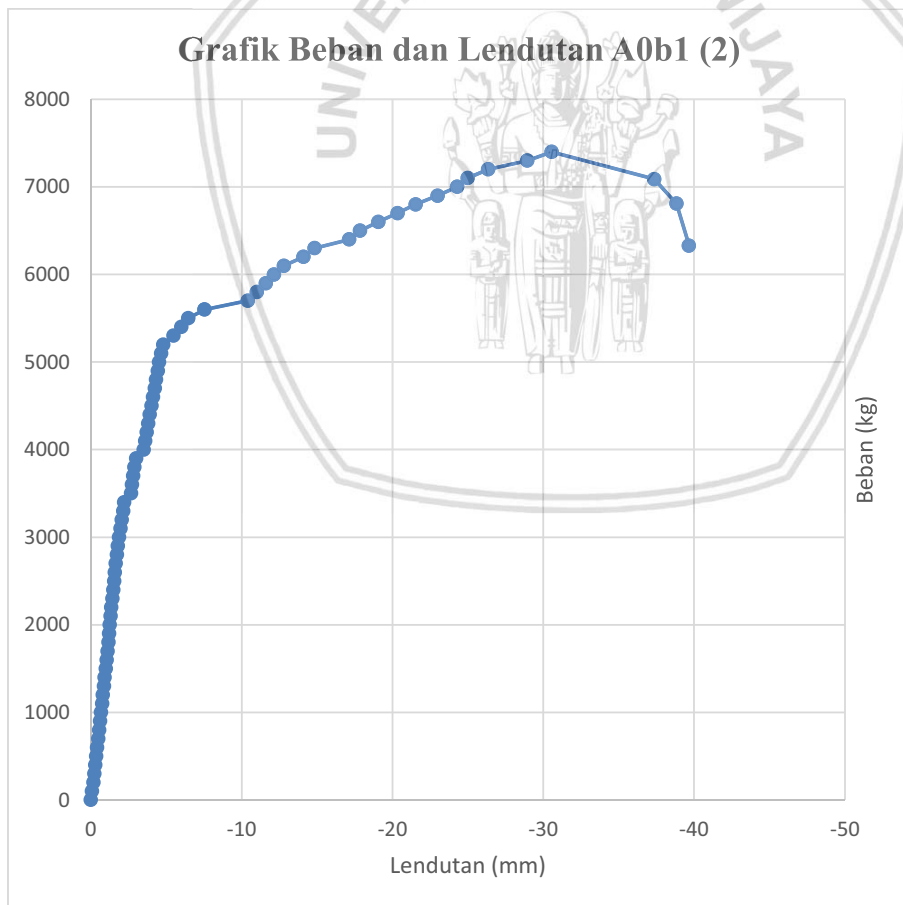


Tabel dan Grafik pengujian A₀b₁ (2) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	2.53	1.283	0
1	100	100	2.6	1.382	-0.0845
2	100	200	2.72	1.435	-0.171
3	100	300	2.85	1.442	-0.2395
4	100	400	2.93	1.466	-0.2915
5	100	500	3.03	1.505	-0.361
6	100	600	3.1	1.56	-0.4235
7	100	700	3.17	1.621	-0.489
8	100	800	3.24	1.682	-0.5545
9	100	900	3.31	1.747	-0.622
10	100	1000	3.37	1.785	-0.671
11	100	1100	3.45	1.86	-0.7485
12	100	1200	3.49	1.89	-0.7835
13	100	1300	3.59	1.97	-0.8735
14	100	1400	3.64	2.011	-0.919
15	100	1500	3.72	2.077	-0.992

16	100	1600	3.79	2.126	-1.0515
17	100	1700	3.87	2.166	-1.1115
18	100	1800	3.94	2.203	-1.165
19	100	1900	4	2.25	-1.2185
20	100	2000	4.03	2.277	-1.247
21	100	2100	4.12	2.337	-1.322
22	100	2200	4.17	2.358	-1.3575
23	100	2300	4.25	2.428	-1.4325
24	100	2400	4.32	2.468	-1.4875
25	100	2500	4.38	2.523	-1.545
26	100	2600	4.45	2.531	-1.584
27	100	2700	4.55	2.549	-1.643
28	100	2800	4.65	2.627	-1.732
29	100	2900	4.72	2.67	-1.7885
30	100	3000	4.81	2.74	-1.8685
31	100	3100	4.9	2.835	-1.961
32	100	3200	5	2.896	-2.0415
33	100	3300	5.14	2.966	-2.1465
34	100	3400	5.24	3.01	-2.2185
35	100	3500	5.78	3.36	-2.6635
36	100	3600	5.88	3.399	-2.733
37	100	3700	5.97	3.45	-2.8035
38	100	3800	6.07	3.52	-2.8885
39	100	3900	6.21	3.62	-3.0085
40	100	4000	6.72	4.102	-3.5045
41	100	4100	6.83	4.19	-3.6035
42	100	4200	6.94	4.29	-3.7085
43	100	4300	7.06	4.359	-3.803
44	100	4400	7.18	4.446	-3.9065
45	100	4500	7.31	4.557	-4.027
46	100	4600	7.42	4.658	-4.1325
47	100	4700	7.56	4.73	-4.2385
48	100	4800	7.66	4.807	-4.327
49	100	4900	7.81	4.9	-4.4485
50	100	5000	7.9	4.96	-4.5235
51	100	5100	8.05	5.097	-4.667
52	100	5200	8.23	5.21	-4.8135
53	100	5300	9.11	5.67	-5.4835
54	100	5400	9.75	6.07	-6.0035
55	100	5500	10.15	6.58	-6.4585
56	100	5600	11.18	7.69	-7.5285
57	100	5700	14.22	10.42	-10.413
58	100	5800	14.84	11	-11.013
59	100	5900	15.46	11.56	-11.603
60	100	6000	16	12.11	-12.148

61	100	6100	16.68	12.74	-12.803
62	100	6200	17.9	14.1	-14.093
63	100	6300	18.55	14.94	-14.838
64	100	6400	20.5	17.6	-17.143
65	100	6500	21	18.5	-17.843
66	100	6600	22.17	19.77	-19.063
67	100	6700	23.3	21.2	-20.343
68	100	6800	24.5	22.4	-21.543
69	100	6900	26	23.8	-22.993
70	100	7000	27.5	24.9	-24.293
71	100	7100	28.2	25.6	-24.993
72	100	7200	29.6	26.9	-26.343
73	100	7300	32	29.7	-28.943
74	100	7400	33.21	31.72	-30.558
75	-312	7088	38.83	39.712	-37.364
76	-279	6809	40.87	40.623	-38.84
77	-480	6329	41.45	41.7	-39.668

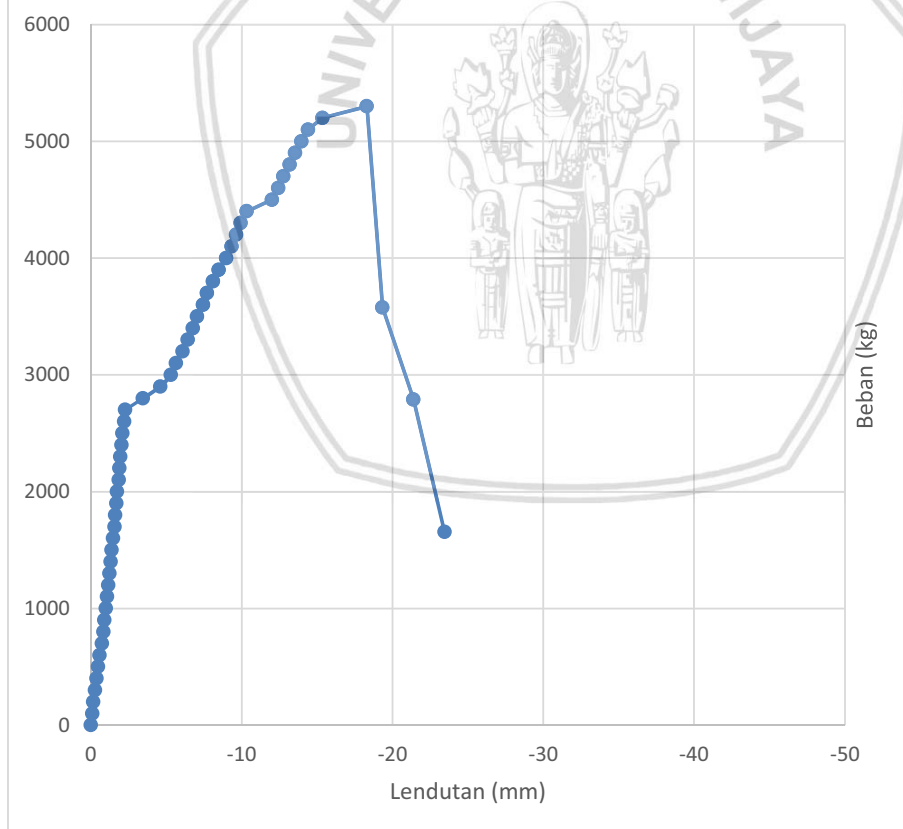


Tabel dan Grafik pengujian A_1a_1 (1) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata- rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	0.16	3.907	0
1	100	100	0.23	4.037	-0.1
2	100	200	0.3	4.08	-0.1565
3	100	300	0.42	4.183	-0.268
4	100	400	0.51	4.288	-0.3655
5	100	500	0.62	4.409	-0.481
6	100	600	0.7	4.528	-0.5805
7	100	700	0.82	4.706	-0.7295
8	100	800	0.91	4.807	-0.825
9	100	900	0.98	4.887	-0.9
10	100	1000	1.07	4.993	-0.998
11	100	1100	1.14	5.072	-1.0725
12	100	1200	1.2	5.153	-1.143
13	100	1300	1.28	5.255	-1.234
14	100	1400	1.37	5.336	-1.3195
15	100	1500	1.42	5.41	-1.3815
16	100	1600	1.47	5.528	-1.4655
17	100	1700	1.58	5.624	-1.5685
18	100	1800	1.62	5.674	-1.6135
19	100	1900	1.68	5.766	-1.6895
20	100	2000	1.75	5.778	-1.7305
21	100	2100	1.86	5.921	-1.857
22	100	2200	1.9	5.955	-1.894
23	100	2300	1.93	6.026	-1.9445
24	100	2400	2	6.119	-2.026
25	100	2500	2.06	6.205	-2.099
26	100	2600	2.14	6.327	-2.2
27	100	2700	2.23	6.394	-2.2785
28	100	2800	3.36	7.609	-3.451
29	100	2900	4.39	8.89	-4.6065
30	100	3000	5.03	9.643	-5.303
31	100	3100	5.33	10.024	-5.6435
32	100	3200	5.73	10.503	-6.083
33	100	3300	6.06	10.834	-6.4135
34	100	3400	6.39	11.188	-6.7555
35	100	3500	6.66	11.499	-7.046
36	100	3600	7.05	11.887	-7.435
37	100	3700	7.29	12.183	-7.703
38	100	3800	7.68	12.579	-8.096
39	100	3900	8.05	12.973	-8.478

40	100	4000	8.53	13.479	-8.971
41	100	4100	8.87	13.863	-9.333
42	100	4200	9.13	14.182	-9.6225
43	100	4300	9.43	14.509	-9.936
44	100	4400	9.83	14.916	-10.339
45	100	4500	12.03	16.037	-12
46	100	4600	12.47	16.438	-12.420
47	100	4700	12.84	16.746	-12.759
48	100	4800	13.29	17.159	-13.191
49	100	4900	13.67	17.489	-13.546
50	100	5000	14.09	17.887	-13.955
51	100	5100	14.54	18.319	-14.396
52	100	5200	15.52	19.263	-15.358
53	100	5300	20.78	19.876	-18.294
54	-1722	3578	22.08	20.65	-19.331
55	-789	2789	25.76	21.078	-21.385
56	-1135	1654	28.98	21.987	-23.45

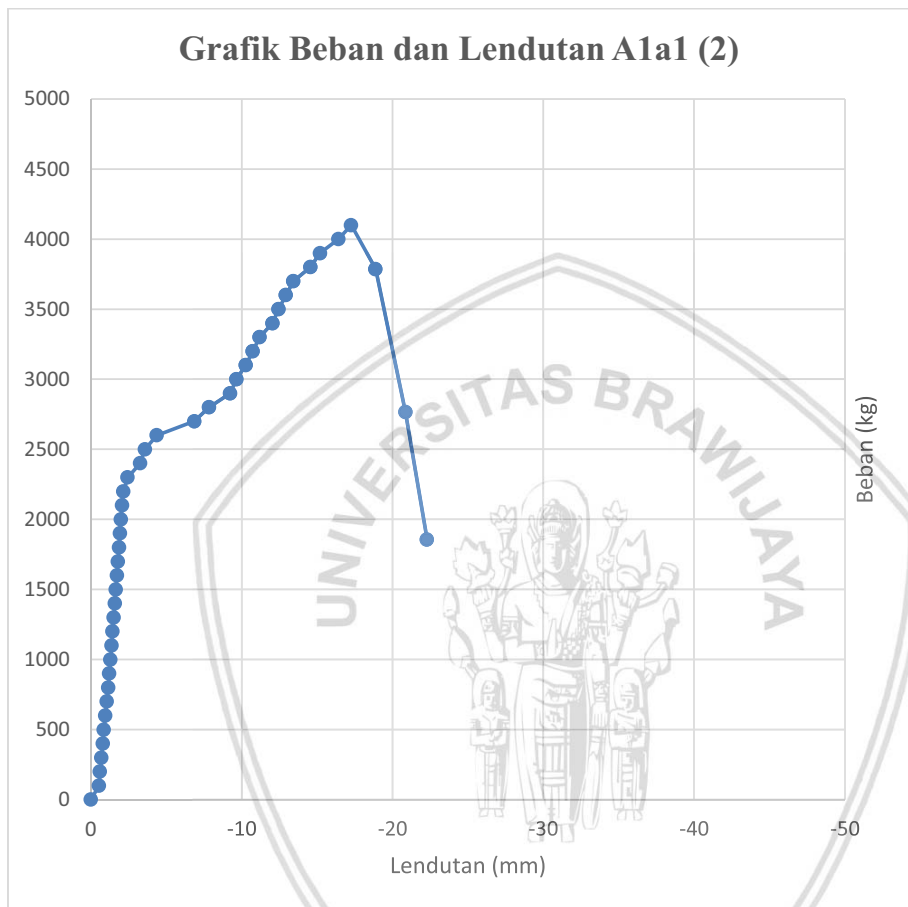
Grafik Beban dan Lendutan A1a1 (1)



Tabel dan Grafik pengujian A_{1a_1} (2) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata- rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	2.13	3.296	0
1	100	100	2.58	3.895	-0.5245
2	100	200	2.66	3.971	-0.6025
3	100	300	2.75	4.074	-0.699
4	100	400	2.83	4.17	-0.787
5	100	500	2.89	4.225	-0.8445
6	100	600	2.98	4.369	-0.9615
7	100	700	3.05	4.481	-1.0525
8	100	800	3.15	4.589	-1.1565
9	100	900	3.21	4.658	-1.221
10	100	1000	3.27	4.744	-1.294
11	100	1100	3.35	4.824	-1.374
12	100	1200	3.41	4.896	-1.44
13	100	1300	3.47	4.98	-1.512
14	100	1400	3.53	5.065	-1.5845
15	100	1500	3.6	5.144	-1.659
16	100	1600	3.65	5.238	-1.731
17	100	1700	3.72	5.291	-1.7925
18	100	1800	3.79	5.371	-1.8675
19	100	1900	3.85	5.444	-1.934
20	100	2000	3.9	5.525	-1.9995
21	100	2100	3.96	5.601	-2.0675
22	100	2200	4.05	5.696	-2.16
23	100	2300	4.34	5.951	-2.4325
24	100	2400	5.54	6.415	-3.2645
25	100	2500	5.92	6.666	-3.58
26	100	2600	6.29	7.876	-4.37
27	100	2700	8.267	10.867	-6.854
28	100	2800	9.27	11.816	-7.83
29	100	2900	10-Jan	13.186	-9.235
30	100	3000	10.76	13.955	-9.6445
31	100	3100	11.35	14.598	-10.261
32	100	3200	11.8	15.087	-10.730
33	100	3300	12.22	15.573	-11.183
34	100	3400	13.03	16.481	-12.042
35	100	3500	13.41	16.902	-12.443
36	100	3600	13.81	17.473	-12.928
37	100	3700	14.33	17.946	-13.425
38	100	3800	15.54	18.991	-14.552
39	100	3900	16.15	19.664	-15.194

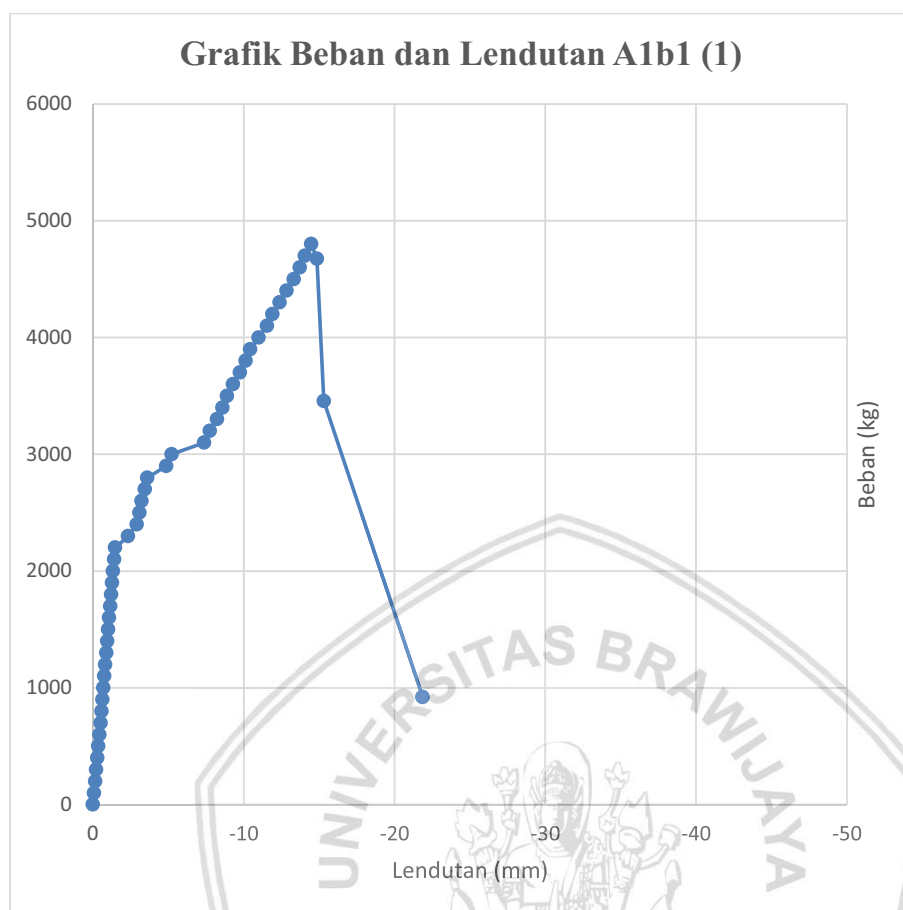
40	100	4000	17.29	20.964	-16.414
41	100	4100	16.49	23.465	-17.264
42	-314	3786	19.08	24.098	-18.876
43	-1021	2765	21.079	26.076	-20.864
44	-909	1856	22.59	27.41	-22.287



Tabel dan Grafik pengujian A₁b₁ (1) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	4.18	3.183	0
1	100	100	4.26	3.248	-0.0725
2	100	200	4.34	3.316	-0.1465
3	100	300	4.42	3.382	-0.2195
4	100	400	4.52	3.445	-0.301
5	100	500	4.59	3.501	-0.364
6	100	600	4.69	3.558	-0.4425
7	100	700	4.78	3.619	-0.518
8	100	800	4.85	3.661	-0.574

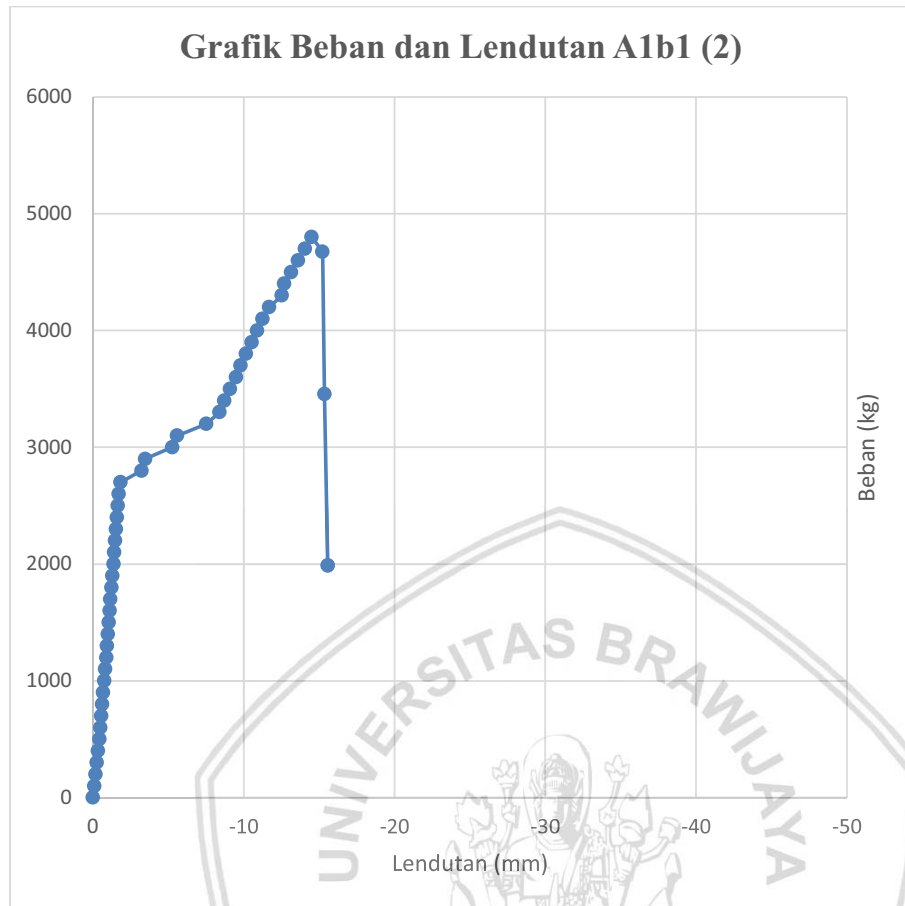
9	100	900	4.93	3.713	-0.64
10	100	1000	4.99	3.764	-0.6955
11	100	1100	5.07	3.815	-0.761
12	100	1200	5.15	3.856	-0.8215
13	100	1300	5.22	3.912	-0.8845
14	100	1400	5.3	3.959	-0.948
15	100	1500	5.37	4.012	-1.0095
16	100	1600	5.45	4.062	-1.0745
17	100	1700	5.53	4.12	-1.1435
18	100	1800	5.6	4.171	-1.204
19	100	1900	5.67	4.23	-1.2685
20	100	2000	5.75	4.28	-1.3335
21	100	2100	5.83	4.34	-1.4035
22	100	2200	5.9	4.42	-1.4785
23	100	2300	6.46	5.578	-2.3375
24	100	2400	6.9	6.29	-2.9135
25	100	2500	7.04	6.486	-3.0815
26	100	2600	7.16	6.66	-3.2285
27	100	2700	7.31	6.93	-3.4385
28	100	2800	7.47	7.12	-3.6135
29	100	2900	8.6	8.5	-4.8685
30	100	3000	8.93	8.89	-5.2285
31	100	3100	11.9	10.2	-7.3685
32	100	3200	12.39	10.5	-7.7635
33	100	3300	12.95	10.88	-8.2335
34	100	3400	13.33	11.237	-8.602
35	100	3500	13.67	11.5	-8.9035
36	100	3600	14.08	11.85	-9.2835
37	100	3700	14.59	12.29	-9.7585
38	100	3800	15.01	12.61	-10.128
39	100	3900	15.3	12.93	-10.433
40	100	4000	15.9	13.43	-10.983
41	100	4100	16.49	13.95	-11.538
42	100	4200	16.88	14.3	-11.908
43	100	4300	17.41	14.72	-12.383
44	100	4400	17.9	15.16	-12.848
45	100	4500	18.43	15.6	-13.333
46	100	4600	18.82	15.97	-13.713
47	100	4700	19.21	16.29	-14.068
48	100	4800	19.63	16.69	-14.478
49	-125	4675	20.02	17.05	-14.853
50	-1219	3456	20.5	17.5	-15.318
51	-2536	920	21.68	29.43	-21.873



Tabel dan Grafik pengujian A₁b₁ (2) :

No.	Tahap Beban	Beban	Lendutan (mm)		Rata-rata mm
			Titik 1	Titik 2	
0	100	0	0.68	0.819	0
1	100	100	0.76	0.926	-0.0935
2	100	200	0.81	1.021	-0.166
3	100	300	0.88	1.121	-0.251
4	100	400	0.95	1.213	-0.332
5	100	500	1.03	1.322	-0.4265
6	100	600	1.08	1.397	-0.489
7	100	700	1.13	1.461	-0.546
8	100	800	1.2	1.544	-0.6225
9	100	900	1.24	1.619	-0.68
10	100	1000	1.3	1.696	-0.7485
11	100	1100	1.35	1.781	-0.816
12	100	1200	1.41	1.858	-0.8845
13	100	1300	1.45	1.9	-0.9255
14	100	1400	1.5	1.993	-0.997
15	100	1500	1.55	2.044	-1.0475

16	100	1600	1.6	2.115	-1.108
17	100	1700	1.65	2.171	-1.161
18	100	1800	1.7	2.247	-1.224
19	100	1900	1.75	2.32	-1.2855
20	100	2000	1.81	2.414	-1.3625
21	100	2100	1.85	2.461	-1.406
22	100	2200	1.9	2.528	-1.4645
23	100	2300	1.94	2.603	-1.522
24	100	2400	2	2.689	-1.595
25	100	2500	2.05	2.75	-1.6505
26	100	2600	2.11	2.819	-1.715
27	100	2700	2.21	2.943	-1.827
28	100	2800	4.06	3.888	-3.2245
29	100	2900	4.33	4.095	-3.463
30	100	3000	6.4	5.62	-5.2605
31	100	3100	6.78	5.9	-5.5905
32	100	3200	8.2	8.33	-7.5155
33	100	3300	9.08	9.22	-8.4005
34	100	3400	9.36	9.57	-8.7155
35	100	3500	9.72	9.98	-9.1005
36	100	3600	10.09	10.411	-9.501
37	100	3700	10.41	10.69	-9.8005
38	100	3800	10.72	11.08	-10.150
39	100	3900	11.05	11.5	-10.525
40	100	4000	11.4	11.86	-10.880
41	100	4100	11.69	12.3	-11.245
42	100	4200	12.14	12.72	-11.680
43	100	4300	12.78	13.78	-12.530
44	100	4400	13.06	13.81	-12.685
45	100	4500	13.5	14.27	-13.135
46	100	4600	13.96	14.76	-13.610
47	100	4700	14.38	15.24	-14.060
48	100	4800	14.83	15.69	-14.510
49	-125	4675	15.86	16.09	-15.225
50	-1219	3456	15.98	16.23	-15.355
51	-1469	1987	16.09	16.56	-15.575



Lampiran 2**Data Pengujian Tekan**

- Silinder A_{0a1} (1)



- Silinder A_{0a1} (2)



➤ Silinder A₀b₁ (1)



➤ Silinder A₀b₁ (2)



➤ Silinder A_{1a1} (1)



➤ Silinder A_{1a1} (2)



➤ Silinder A_1b_1 (1)



➤ Silinder A_1b_1 (2)





DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kuat Tekan Beton	Newton per millimeter kuadrat atau N/mm^2	f'_c
Beban	Newton atau N	P
Luas Penampang	Meter atau m	A
Lendutan	Milimeter atau mm	Δ
Berat	Weight atau W	W
Modulus Elastisitas	Newton per millimeter kuadrat atau N/mm^2	E
Tegangan	Newton atau N	σ
Regangan	Milimeter atau mm	ε
Rasio	Persen atau %	ρ
Tegangan Lekat	Newton per millimeter kuadrat atau N/mm^2	μ
Garis Netral	Meter atau m	c
Momen Nominal	Kilogram Meter atau Kgm	M_n
Momen Ultimate	Kilogram Meter atau Kgm	M_u